



João Marcos Pereira Gomes

**GÊNESE DE CALCRETES LAMINARES NA FORMAÇÃO MARÍLIA
(NEOCRETÁCEO DA BACIA BAURU)**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2017



UFRJ

João Marcos Pereira Gomes

**GÊNESE DE CALCRETES LAMINARES NA FORMAÇÃO MARÍLIA
(NEOCRETÁCEO DA BACIA BAURU)**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador(es):

Patrick Francisco Fuhr Dal' Bó

Rio de Janeiro

Março de 2017

JOÃO MARCOS, Pereira Gomes

Gênese de Calcretes Laminares na Formação Marília (Neocretáceo da Bacia Bauru): João Marcos Pereira Gomes - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2017.

x, 43p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2017.

Orientador(es): Patrick Francisco Fuhr Dal' Bó

1. Geologia. 2. Paleontologia e Estratigrafia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gleide Alencar Nascimento Dias. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

João Marcos Pereira Gomes

GÊNESE DE CALCRETES LAMINARES NA FORMAÇÃO MARÍLIA
(NEOCRETÁCIO DA BACIA BAURU)

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador(es):

Patrick Francisco Fuhr Dal' Bó (UFRJ)

Aprovada em: 02 de Março de 2017

Por:

Orientador: Patrick Francisco Fuhr Dal' Bó (UFRJ)

Murilo Medeiros (Shell)

MSc Julia Favoreto (Lagesed -UFRJ)

Agradecimentos

Ao professor Prof. Dr. Patrick Dal' Bó pela orientação, apoio e confiança;

Ao Programa Petrobras de Formação de Recursos Humanos (PFRH-PB-218) pela concessão da bolsa e suporte financeiro para esta pesquisa;

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar da UFRJ, por permitir o uso dos equipamentos necessários para realização deste trabalho;

À Lorena Sampaio pela ajuda e paciência no desenvolvimento do trabalho;

Aos meus amigos de graduação Daniela Bassi, Gabriel Cellier, Gabriela Boonen, Guilherme Duarte, Ingrid Silveira, Marina Meloni e Nina Torres pela amizade ao longo desses 5 anos e pelo incentivo e ajuda na conclusão deste trabalho;

À Juliana Rodrigues, por todo amor e incentivo e por nunca ter medido esforços para me ajudar em todos os momentos de dificuldade;

Aos meus pais, Marcos José Paz Gomes e Eliana Aragão Pereira, pelo suporte e amor em todos os momentos, que me permitiram chegar até esta etapa da minha vida.

Resumo

GOMES, João Marcos. **Gênese de calcretes laminares na Formação Marília (Neocretáceo da Bacia Bauru)**. 2017. x, 43 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Calcretes são definidos como acumulações continentais de carbonato de cálcio que ocorrem próximas à superfície, e possuem texturas e morfologias diversas, desde pulverulenta, nodular, laminar e maciço. Este estudo tem como objetivo identificar e interpretar e os possíveis mecanismos de formação de calcretes laminares na Formação Marília, na região de Uberaba, no estado de Minas Gerais. Foram coletadas onze amostras, que ocorrem em horizontes de paleossolos e arenitos fluviais dos membros Ponte Alta e Serra da Galga, para preparação de seções polidas e lâminas delgadas. Dois tipos de calcretes laminares foram identificados no estudo, classificados como biogênicos e abiogênicos, de acordo com os constituintes primários e texturas associadas. As texturas formadas pelos processos biogênicos são feições alveolares e *microcodium*. Em relação às texturas formadas a partir dos processos abiogênicos são relacionadas à substituição de grãos siliciclásticos, texturas do tipo grãos flutuantes e franjas carbonáticas ao redor de grãos. Os calcretes abiogênicos foram identificados no Membro Ponte Alta, intercalados com arenitos fluviais, sendo constituídos por vênulas sub-horizontais de calcita espática orientadas em diferentes direções. A sua formação está, provavelmente, ligada a processos diagenéticos vadosos e freáticos. Os calcretes biogênicos ocorrem no Membro Serra da Galga em perfis de paleossolos geralmente associados a horizontes superficiais com alta densidade radicular associada. A formação dos calcretes biogênicos estaria ligada diretamente a calcificação de raízes em conjunto com as condições do ambiente em que se desenvolveram.

Palavras-chave: Calcretes laminares; Paleossolos; Formação Marília.

Abstract

GOMES, João Marcos. **Genesis of laminar calcretes in Marília Formation (Late Cretaceous of Bauru Basin)**. 2017. x, 43 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Calcretes are defined as continental accumulations of calcium carbonate that occurs near the surface, and have different textures and morphologies, from powder, nodular, laminar and massive. This study aims to identify and interpret the possible calcretes laminar formation mechanisms in Marília Formation in the region of Uberaba, in Minas Gerais. Eleven samples were collected, which occur in fluvial sandstones and paleosol horizons in Ponte Alta and Serra da Galga members, for preparation of polished sections and thin sections. Two types of laminar calcretes were identified in the study classified as biogenic and abiogenic, according to the primary constituents and associated textures. The textures formed by biogenic processes are alveolar and microcodium features. The textures formed from abiogenic processes are related to the replacement of siliciclastic grains, the grains floating type textures and carbonate fringes around grains. The abiogenic calcretes were identified in Ponte Alta Member, interspersed with fluvial sands, being composed of sub-venules horizontal spastic calcite oriented in different directions. Its formation is probably linked to vain and phreatic diagenetic processes. The biogenic calcretes occurs in Serra da Galga Member in paleosol profiles generally associated with surface horizons associated with high root density. The formation of biogenic calcretes is linked directly to calcification of roots together with the environmental conditions in which it developed.

Key-Words: Laminar calcretes; Paleosols; Marília Formation.

Lista de figuras

Figura 1 - Principais tipos de calcretes rizogênicos.	3
Figura 2 - Principais tipos de calcificação em estruturas radiculares.	4
Figura 3 - Localização da área de estudos e pontos estudados nos arredores de Uberaba (MG). A estratigrafia da bacia na área foi modificada de Barcelos e Suguio (1987)	6
Figura 4 - Mapa de distribuição da Bacia Bauru.	8
Figura 5 - Afloramento do Membro Serra da Galga, Formação Marília. Paleossolo com ocorrência de calcretes laminares.	11
Figura 6 - Seção polida de um calcrete laminar associado a um calcrete brechoso.	12
Figura 7 - Imageamento da área total da lâmina da amostra PA-19, permitindo a observação da textura e o relacionamento entre os constituintes.	14
Figura 8 - Exemplificação do intenso processo de calcretização das rochas do Membro Ponte Alta.	16
Figura 9 - Perfil de <i>Vertisol</i> na BR-050 km-153.	17
Figura 10 - Calcretes laminares cortando fragmentos de rocha configurando um aspecto brechoso.	19
Figura 11 - Nódulos coalescidos associados a calcretes laminares do Membro Ponte Alta.	20
Figura 12 - Exemplos de como pode ocorrer a laminação nos calcretes do Membro Ponte Alta.	22
Figura 13 - Nódulo micrítico com contornos corroídos com textura de grãos flutuantes	23
Figura 14 - Franja carbonática.	23
Figura 15 - Imageamento da área total da Lâmina PA-02.	24
Figura 16 - Imageamento da área total da lâmina PA-05.	25
Figura 17 - Imageamento da área total da lâmina PA-19.	26
Figura 18 - Horizontes Bssk de <i>Vertisols</i> com o desenvolvimento de calcretes laminares associados a rizólitos.	28
Figura 19 - Bioturbação cortando as laminações	28
Figura 20 - A) Rizoconcreção; B) Rizólito; C e D) <i>Microcodium</i>	29
Figura 21 - Imageamento total das lâminas SG-04-01 e SG-04-02.	30
Figura 22 - A) Iluviação de ferri-argilã B) Bioturbação.	31
Figura 23 - Imageamento da área total das lâminas SG-04-03 E SG-04-04	32
Figura 24 - Imageamento da área total das lâminas SG-07-01 e SG-07-02.	33
Figura 25 - 1) Formação de um <i>microcodium</i> ; 2) Tipos de <i>microcodium</i>	34
Figura 26 - Paleoambiente de formação de calcretes laminares na Formação Marília.	38

Lista de tabelas

Tabela 1 - Lista de amostras.	13
------------------------------------	----

Sumário

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de figuras e Lista de Tabelas.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	5
3. ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
3.1 Localização	6
3.2 Bacia Bauru.....	7
3.3 Formação Marília	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1 Materiais.....	12
4.2 Métodos.....	13
5. RESULTADOS.....	16
5.1 Calcretes laminares no Membro Ponte Alta.....	18
5.1.1 Macroscopia	18
5.1.2 MICROSCOPIA.....	21
5.1.2.1 Descrição geral.....	21
5.1.2.2 Lâmina PA-02	24
5.1.2.3 Lâmina PA-05	24
5.1.2.4 Lâmina PA-19	25
5.2 Calcretes laminares no Membro Serra da Galga	27
5.2.1 Macroscopia	27
5.2.2 MICROSCOPIA.....	29
5.2.2.1 Descrição geral.....	29
5.2.2.2 Lâmina SG-04	30
5.2.2.3 Lâmina SG-07	32
5.2.2.4 Microcodium	34
6. DISCUSSÃO.....	36
7. CONCLUSÕES.....	39
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

Calcretes constituem um dos tipos de carbonatos continentais que mais tem recebido atenção da comunidade geocientífica internacional nas últimas décadas. O crescente interesse em estudá-los, resulta da vasta distribuição que possuem em depósitos, solos atuais e sucessões sedimentares, e também por constituírem importantes fontes de dados sobre ecossistemas, paleoambientes e suas condições de relevo, clima, vegetação e regime sedimentar (Wright, 1991).

Calcretes são definidos por Wright (2007) como acumulações terrestres próximas à superfície de carbonato de cálcio ocorrendo de diversas formas, desde pulverulento, nodular, laminar ou até mesmo maciço.

As acumulações de carbonato de cálcio na Formação Marília foram reconhecidas pela primeira vez como calcretes por Suguio (1973). A formação destes é interpretada como resultante de processos que se sobrepõe e ocorrem mais de uma vez, podendo ser diagenéticos, freáticos ou pedogenéticos. Durante sua formação podem ser formadas uma grande variedade de morfologias e texturas que são ligadas tanto a processos biogênicos quanto abiogênicos. As texturas formadas pelos processos biogênicos são, por exemplo, feições alveolares e rizólitos. Em relação às texturas formadas a partir dos processos abiogênicos são relacionadas à substituição de grãos siliciclásticos, texturas do tipo grãos flutuantes e franjas carbonáticas ao redor de grãos (Sampaio, 2016).

Os calcretes ocorrem em ambientes áridos e semi-áridos e podem ser divididos em dois principais tipos: pedogênicos e freáticos, que se diferenciam segundo três fatores

principais: variação do lençol freático, rocha hospedeira e período de exposição subaérea (Alonso-Zarza, 2003).

Os calcretes pedogênicos podem ser identificados em horizontes Bk e Bkkm de paleossolos e são mais comuns em ordens paleossolos classificados como *Aridosols* e *Vertisols* (Wright e Tucker, 1991). É um tipo formado acima do lençol freático, apresentando horizontes de solos bem desenvolvidos e classificado de acordo com sua morfologia, como foi definido por Wright (2007).

O tipo freático está relacionado à presença de aquíferos em regiões de clima árido a semiárido. O clima controla a formação desse tipo de calcrete devido a três fatores descritos em Alonso-Zarza (2003). Primeiro, a umidade constante favorece a dissolução do carbonato, segundo, chuvas fortes intermitentes tendem a formar melhores sistemas de águas subterrâneas e terceiro, elevadas taxas de evaporação e evapotranspiração são critérios essenciais para a precipitação de carbonato de cálcio.

Com isso, a ocorrência de ambos os tipos de calcretes está diretamente ligada às condições paleoambientais e a mudança na ocorrência de cada tipo é de acordo com a variação desses fatores.

Os calcretes laminares, que é o principal foco deste trabalho, são identificados no topo de perfis de calcretes ou intercalados com depósitos sedimentares. A formação desse tipo de calcrete tem sua origem ligada, segundo Wright (1989), a processos abiogênicos ou biogênicos, sendo este último relacionado à atividade de raízes, conhecidos como calcretes rizogênicos.

Os calcretes laminares abiogênicos foram descritos e diferenciados dos rizogênicos por Wright (1989) tendo sua origem ligada a evaporação ou perda de CO₂ por degaseificação

com laminações muito finas, com microestruturas densas e formados por carbonatos microcristalinos.

Os calcretes rizogênicos foram descritos como calcretes que se desenvolvem a partir da calcificação de raízes de plantas. O trabalho de Wright et al. (1995) identifica três tipos desses calcretes (Fig. 1). O primeiro ocorre associado à calcificação extracelular de raízes, formados em ambientes palustres com nível freático elevado, o segundo, associado à calcificação intracelular de raízes, que ocorrem em perfis de paleossolos e que formam uma feição específica conhecida como *microcodium* e o terceiro, em que a calcificação das raízes produzem grãos revestidos e peloides.

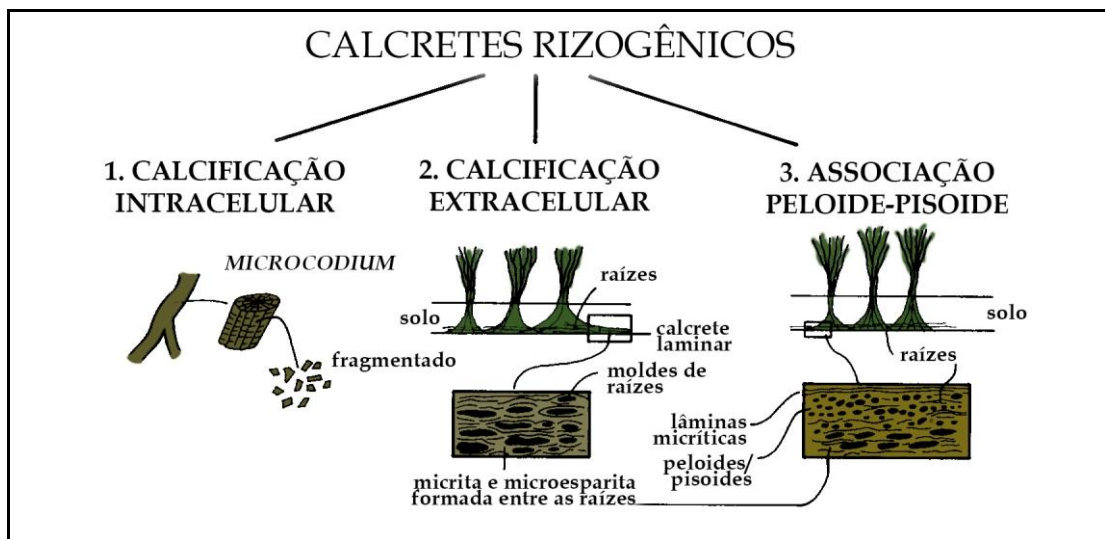


Figura 1 - Principais tipos de calcretes rizogênicos. (Adaptado de Wright et al. 1995)

Alonso-Zarza (1999) mostra como a calcificação pode ocorrer na estrutura da raiz. Essa classificação é caracterizada pela relação entre decomposição da raiz e atividade de fungos (Fig.2).

O primeiro tipo de calcificação indica uma planta com necessidade de estabilização da parede celular e, por isso, com necessidade de carbonato de cálcio, o que causou a calcificação, sem atividade de fungos. O segundo tipo foi observado a calcificação apenas na região do cortex da raiz, indicando uma calcificação extracelular, a partir da substituição das células por cristais de calcita microcristalina, além disso, as microestruturas observadas indicam que a calcificação ocorreu pela ação, tanto de raízes, quanto de fungos, enquanto a planta ainda estava viva. No terceiro tipo, a falta de preservação das microestruturas indica calcificação após a decomposição da raiz.

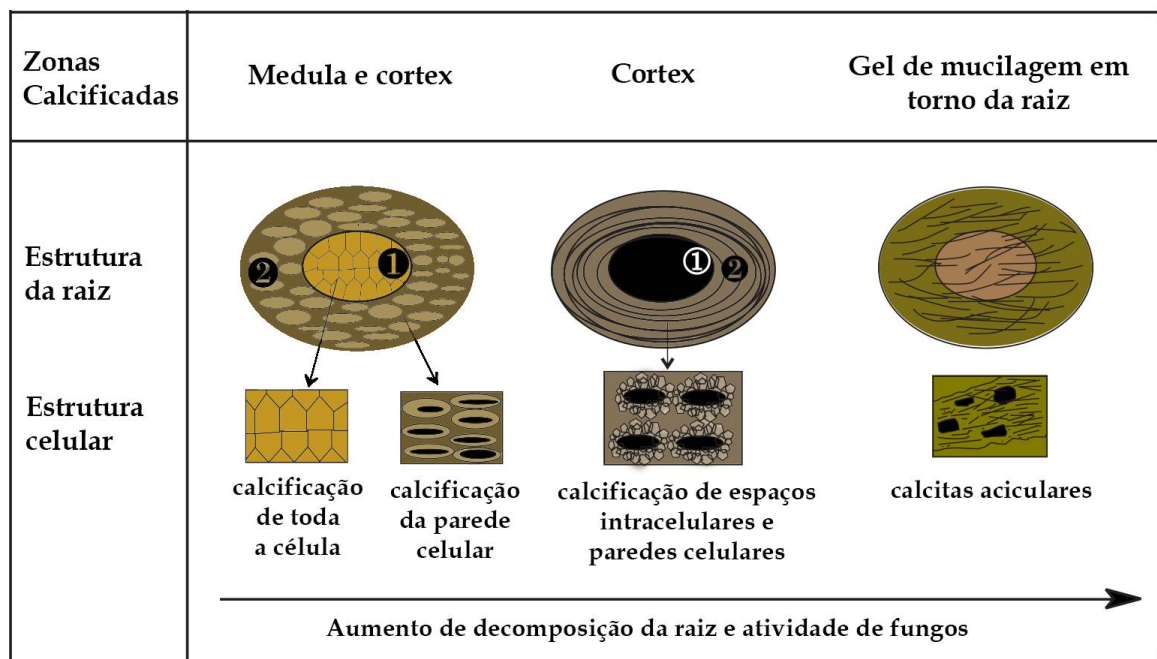


Figura 2 - Principais tipos de calcificação em estruturas radiculares. (Modificado de Alonso-Zarza, 1999)

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

Este estudo tem como objetivo a identificação dos diferentes tipos de calcretes laminares formados em depósitos da Formação Marília na região de Uberaba – MG, assim como entender o papel da atividade biogênica e abiogênica na formação desse tipo de calcrete.

A não existência de estudos preliminares com esse tema específico na área estudada justifica este trabalho. Com isso, esperasse uma primeira caracterização em detalhe dos calcretes laminares na Formação Marília.

3. ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS GEOLÓGICOS

3.1 Localização

A área de estudo deste trabalho é localizada nos arredores do município de Uberaba, na região do Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais. Foram estudados afloramentos ao longo da BR-050 e na BR-262 próximo aos distritos de Peirópolis e Ponte Alta indicados na figura 3 nos ponto 1 a 4.

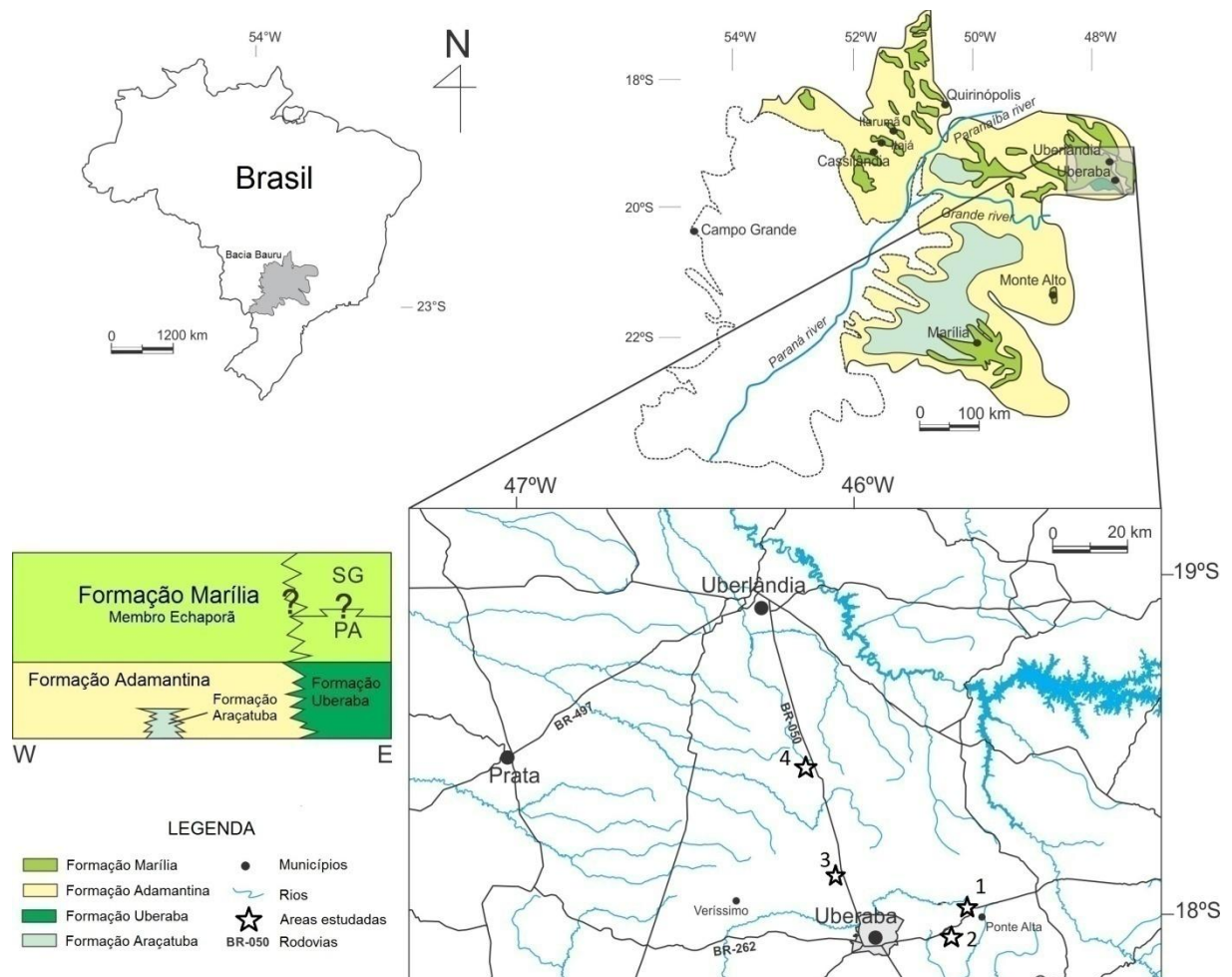


Figura 3 - Localização da área de estudos e pontos estudados nos arredores de Uberaba (MG). A estratigrafia da bacia na área foi modificada de Barcelos e Suguio (1987) (Extraído de Sampaio, 2016).

3.2 **Bacia Bauru**

A Bacia Bauru ocorre distribuída pelos estados de Minas Gerais, mais especificamente na região do Triângulo Mineiro, São Paulo, em sua porção oeste, Goiás, no sul deste estado, Mato Grosso do Sul em sua porção nordeste e norte do Paraná e seus limites foram definidos como de natureza erosiva, por Ricominni (1997). A sul é limitada pelo rio Piquiri, a sudeste, pelo Paranapanema, a leste, pelos alinhamentos do rio Moji-Guaçu, São Carlos-Leme e Ibitinga-Botucatu, a nordeste, pelo soerguimento do Alto Paranaíba e a noroeste, pela antéclice de Rondonópolis, como ilustrado na figura 4.

O desenvolvimento da Bacia Bauru ocorreu durante o Cretáceo Superior entre as idades Santoniano e Maastrichtiano, segundo Soares et al. (1980). A sua formação, explicada em Fernandes e Coimbra (1996), ocorreu na plataforma Sul-Americana, em sua porção centro-sul, como uma bacia continental interior, por um evento de compensação isostática devido ao derrame e acúmulo de aproximadamente 2000 metros de lavas basálticas. A Bacia Bauru possui formato alongado na direção norte/nordeste e possui espessura de aproximadamente 300 metros e área de 370.000 km². O substrato desta bacia é formado pelos basaltos da Formação Serra Geral separado por inconformidade.

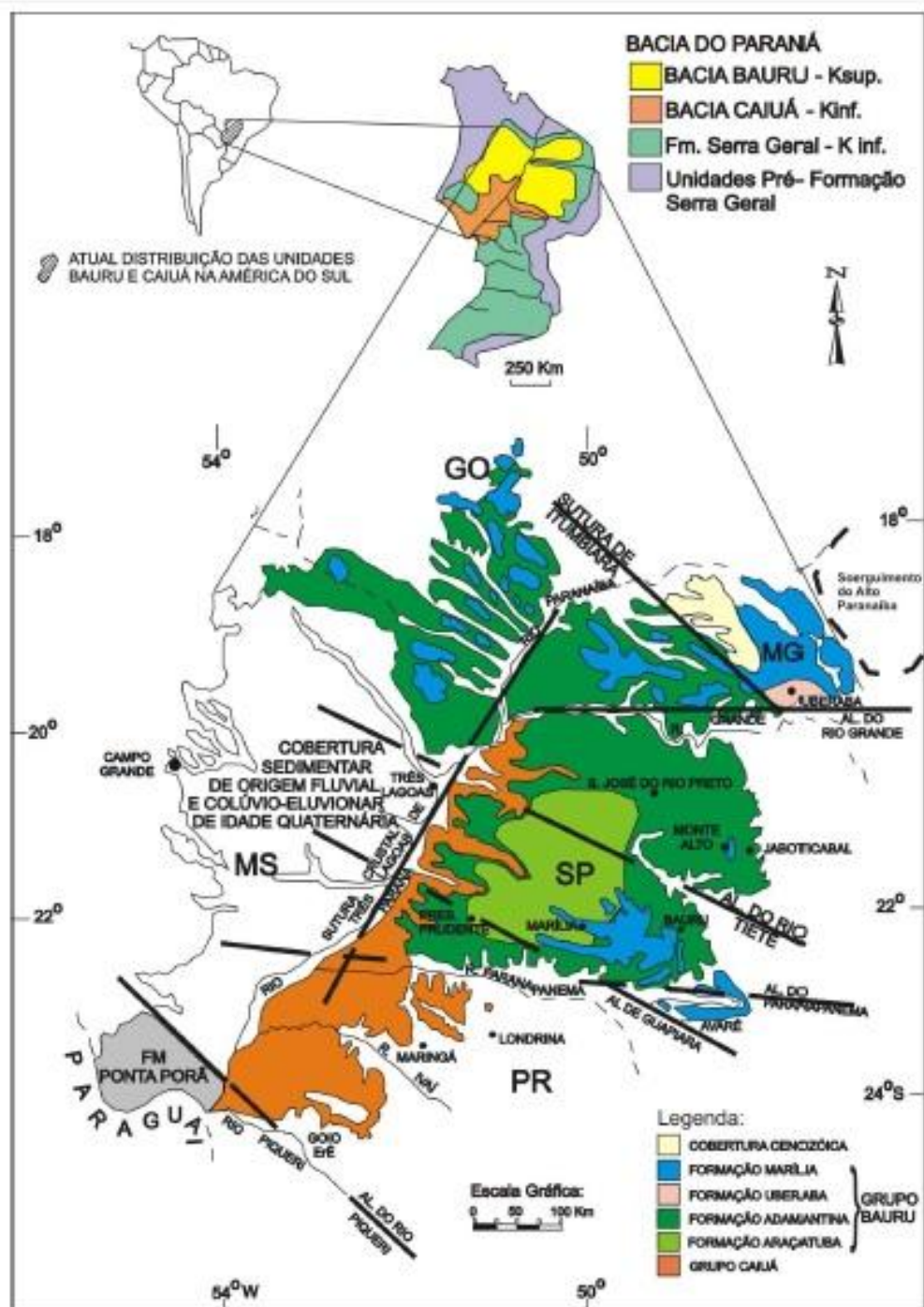


Figura 4 - Mapa de distribuição da Bacia Bauru (Fernandes e Coimbra, 1996, modificado por Batezelli, 2003).

A estratigrafia da Bacia Bauru é subdivida nos grupos Caiuá e Bauru. A subdivisão mais aceita para o Grupo Bauru é a proposta por Soares et al. (1980) em que ocorre a subdivisão em quatro formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, mas

atualmente é proposta a reclassificação da Formação Caiuá para Grupo Caiuá, pois em Fulfaro et al. (1999) é descrita uma superfície de descontinuidade regional, que chega a conclusão de que dois grupos se depositaram em intervalos diferentes: Caiuá, no Eocretáceo e Bauru, no Neocretáceo.

3.3 Formação Marília

A área em que foi desenvolvido este trabalho compreende a região de Uberaba, localizada no Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais, onde foram estudados afloramentos da Formação Marília (Maastrichtiano).

A Formação Marília foi definida pela primeira vez no trabalho de Almeida e Barbosa (1953), e é caracterizada por Dal'Bó (2011) como arenitos muito finos a grossos e raros depósitos de arenitos conglomeráticos em que os arenitos são bem selecionados, bem arredondados e exibem alta esfericidade, predominantemente constituídos por quartzo e, secundariamente, por fragmentos líticos de basalto e quartzito. A espessura máxima da Formação Marília é de 160m, que ocorre na cidade de mesmo nome, recoberta por sedimentos cenozoicos (Soares et al. 1980). A deposição está inserida em um contexto flúvio-eólico de bacia endorréica sob clima semi-árido, o qual favoreceu o desenvolvimento de acumulações carbonáticas na forma de calcretes (Fulfaro e Barcelos, 1991; Dias-Brito et al., 2001).

Barcelos e Suguio (1987) subdividem a Formação Marília em três membros. A divisão é baseada em litoestratigrafia e os membros são Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã. Os membros Ponte Alta e Serra da Galga ocorrem somente no Triângulo Mineiro, enquanto o Membro Echaporã está distribuído em diversas áreas, como, por exemplo, sul de Goiás,

sudoeste do Triângulo Mineiro, oeste do Planalto Ocidental Paulista e nordeste do Mato Grosso do Sul.

Os três membros da Formação Marília são descritos por Batezelli (2010) da seguinte forma:

O Membro Ponte Alta é composto por arenitos finos, esbranquiçados, cimentados por CaCO_3 intercalados com calcretes. O Membro Serra da Galga é constituído por arenitos imaturos finos a grossos, por vezes conglomeráticos, que ocorrem intercalados com paleossolos (Fig. 5). O Membro Echaporã é composto por arenitos finos a grossos, bem selecionados, bem arredondados, maciços, com intercalações de conglomerados, cimentados por CaCO_3 .

O contato entre os membros Ponte Alta e Serra da Galga ocorre de forma interdigitada, por vezes com limites bem definidos devido às litologias extremamente cimentadas do Membro Ponte Alta e as com menor proporção de cimento do Membro Serra da Galga ou de forma gradual, por variação no nível de cimentação (Fernandes e Coimbra 2000). Entretanto, a divisão desses dois membros utilizando o grau de cimentação das litologias é um critério ainda discutido em trabalhos mais recentes, considerando a possibilidade de ser uma unidade indivisa (Capilla, 2002).

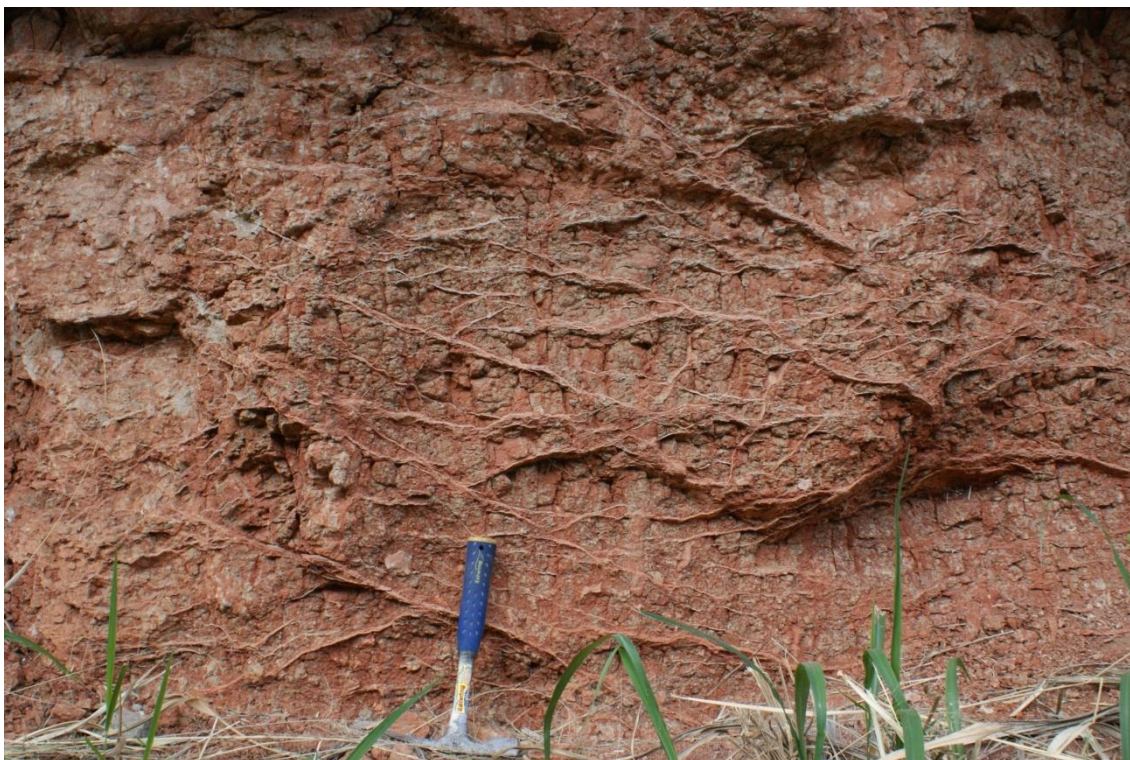


Figura 5 - Afloramento do Membro Serra da Galga, Formação Marília. Paleossolo com ocorrência de calcretes laminares.

Os horizontes de paleossolos da Formação Marília ocorrem principalmente nos membros Serra da Galga e Echaporã. Paleossolos são descritos por Retallack (2001) como solos antigos, formados em paisagens do passado, sendo enterrados no registro sedimentar, coberto por detritos de inundação, deslizamentos de terra, cinzas vulcânicas, ou lava. A sua identificação é possível através da identificação de rizólitos, estruturas e horizontes de solo que tenham se preservado (Retallack, 1990).

A identificação de paleossolos tem grande relevância para este trabalho, pois a formação destes está associada à formação de calcretes. Os calcretes mais espessos da Formação Marília ocorrem nos membros Ponte Alta e Echaporã, que são arenitos extremamente cimentados, mas no Membro Serra da Galga ocorrem intervalos concrecionados, nodulares e laminares (Fernandes, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho consistiu em etapas de aquisição de dados em campo, onde foram coletados amostras para confecção de lâminas delgadas para análise petrográfica, seções polidas (Fig. 6) e fragmentos de rocha para análises texturais, morfológicas e composicionais.



Figura 6 - Seção polida de um calcite laminar associado a um calcite brechoso (Amostra PA-02).

4.1 Materiais

No trabalho de campo foram doze amostras de calcites laminares para as análises laboratoriais. As siglas PA e SG são referentes aos membros da Formação Marília, Ponte Alta e Serra da Galga, respectivamente.

Sigla	Seção Polida	Lâmina
PA-01	X	
PA-02	X	X
PA-05	X	X
PA-19	X	X
SG-04-01	X	X
SG-04-02	X	X
SG-04-03	X	X
SG-04-04	X	X
SG-06	X	
SG-07-01	X	X
SG-07-02	X	X
SG-10	X	

Tabela 1 - Lista de amostras

4.2 Métodos

Os calcretes foram descritos segundo as recomendações de Esteban e Klappa (1983) e Machette (1985), considerando as modificações diagenéticas (Arakel, 1986; Alonso-Zarza, 2003). Adicionalmente às descrições de campo foram coletadas amostras orientadas representativas das rochas sedimentares e dos principais tipos de calcrete e paleossolos, para a confecção de seções polidas e lâminas delgadas.

Foram confeccionadas seções polidas em todas as amostras para obtenção de imagens em alta resolução com objetivo de observar os diferentes tipos de laminação, medindo as

espessuras e distribuição ao longo da seção. As amostras selecionadas para a confecção das lâminas delgadas foram escolhidas a partir da espessura e continuidade lateral das laminações observadas nas imagens digitais obtidas em scanner e são as seguintes: PA-02, PA-05, PA-19, SG-04 e SG-07. Além disso, foram feitas análises digitais (Fig. 7) de todas as lâminas para observação geral. As seções polidas e as lâminas delgadas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências/UFRJ.

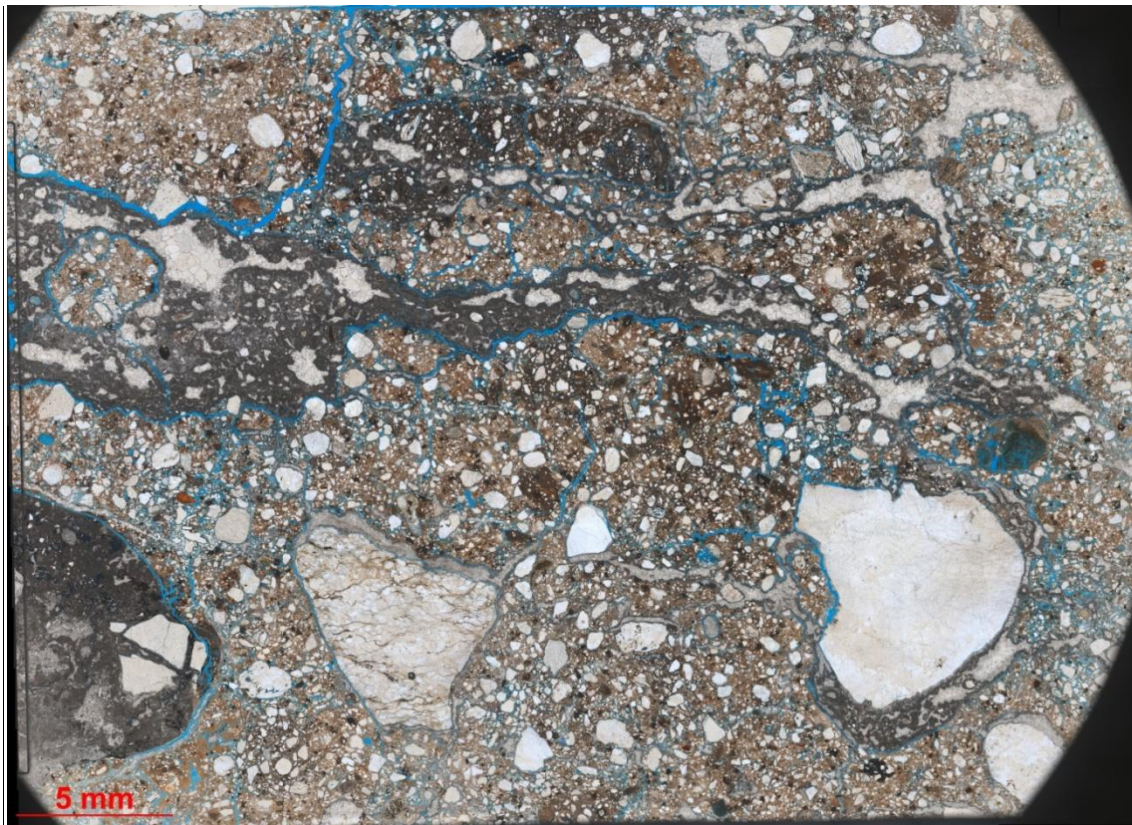


Figura 7 - Imageamento da área total da lâmina da amostra PA-19, permitindo a observação da textura e o relacionamento entre os constituintes.

As amostras foram impregnadas com resina de poliéster, que promoveu o endurecimento do material por polimerização. A descrição microscópica seguiu as proposições de Bullock *et al.* (1985). A descrição foi realizada com a utilização de

microscópio óptico de luz polarizante do tipo *Zeiss Axio Imager.A2m* e as fotomicrografias foram obtidas com a utilização do programa *AxionVision*.

5. RESULTADOS

Inicialmente foram descritas as rochas em que estão presentes os calcretes laminares da Formação Marília. Esses calcretes ocorrem em ambos os membros da unidade com diferentes características.

No Membro Ponte Alta, composto por arenitos e arenitos conglomeráticos que passaram por um processo intenso de calcretização (Fig. 8), onde é impossível identificar estruturas sedimentares primárias. Os calcretes ocorrem nessa unidade e estão associados a outro tipos de calcretes, como os brechosos e nodulares.



Figura 8 - Exemplificação do intenso processo de calcretização das rochas do Membro Ponte Alta.

No Membro Serra da Galga, que é uma unidade composta por arenitos conglomeráticos com estratificações cruzadas intercalados com paleossolos, os calcretes ocorrem nesses horizontes de paleossolos, que foram interpretados como *Vertisols* (Fig. 9) nessa área de estudo por Sampaio (2016) devido a presença de feições diagnósticas em campo como estruturas pedogênicas com formas cuneiformes ou paralelepipedicas, presença de superfícies de fricção e ocorrência de anticlinais em horizontes de paleossolo, interpretadas como *mukkara* (Retallack, 2001). O horizonte tem aproximadamente 50 cm de espessura e tem como característica ser bastante homogêneo.

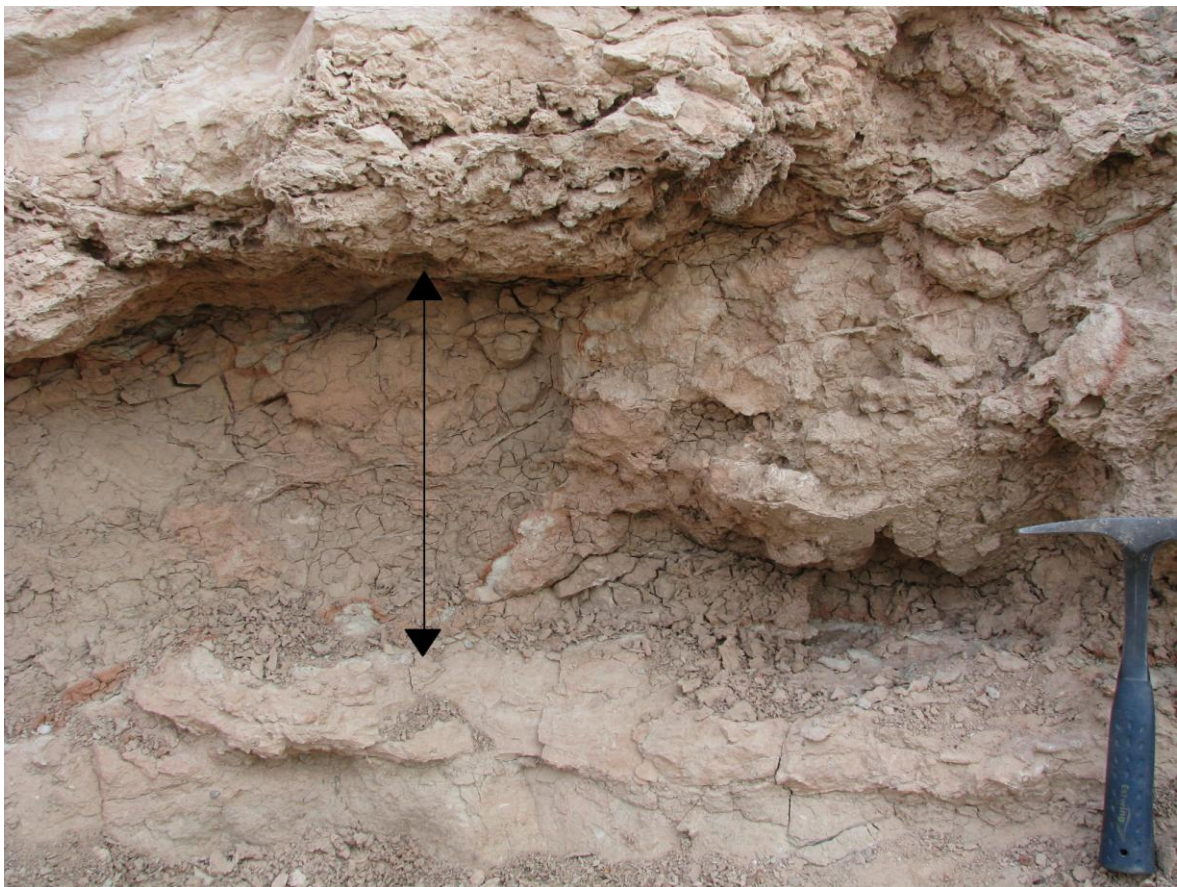


Figura 9 - Perfil de *Vertisol* na BR-050 km-153.

5.1 Calcretes laminares no Membro Ponte Alta

5.1.1 Macroscopia

Os calcretes laminares do Membro Ponte Alta ocorrem em arenitos fortemente cimentados por carbonato de cálcio. A laminação possui em média 1 cm de espessura e ocorre de forma irregular pelo substrato e são formadas por calcita espática. Esses calcretes ocorrem associados a outros tipos, como, nodulares e brechosos apresentando continuidade lateral ao longo de todas as amostras estudadas.

Em calcretes brechosos, a caracterização dos laminares se dá pelo corte de fragmentos de brecha, ocorrendo tanto de forma sub-horizontal como sub-vertical, como mostrado na Fig. 10. São caracterizados por arenitos conglomeráticos extremamente cimentados e substituídos por carbonato de cálcio, e formam fragmentos de 2-20cm, angulosos a subarredondados.

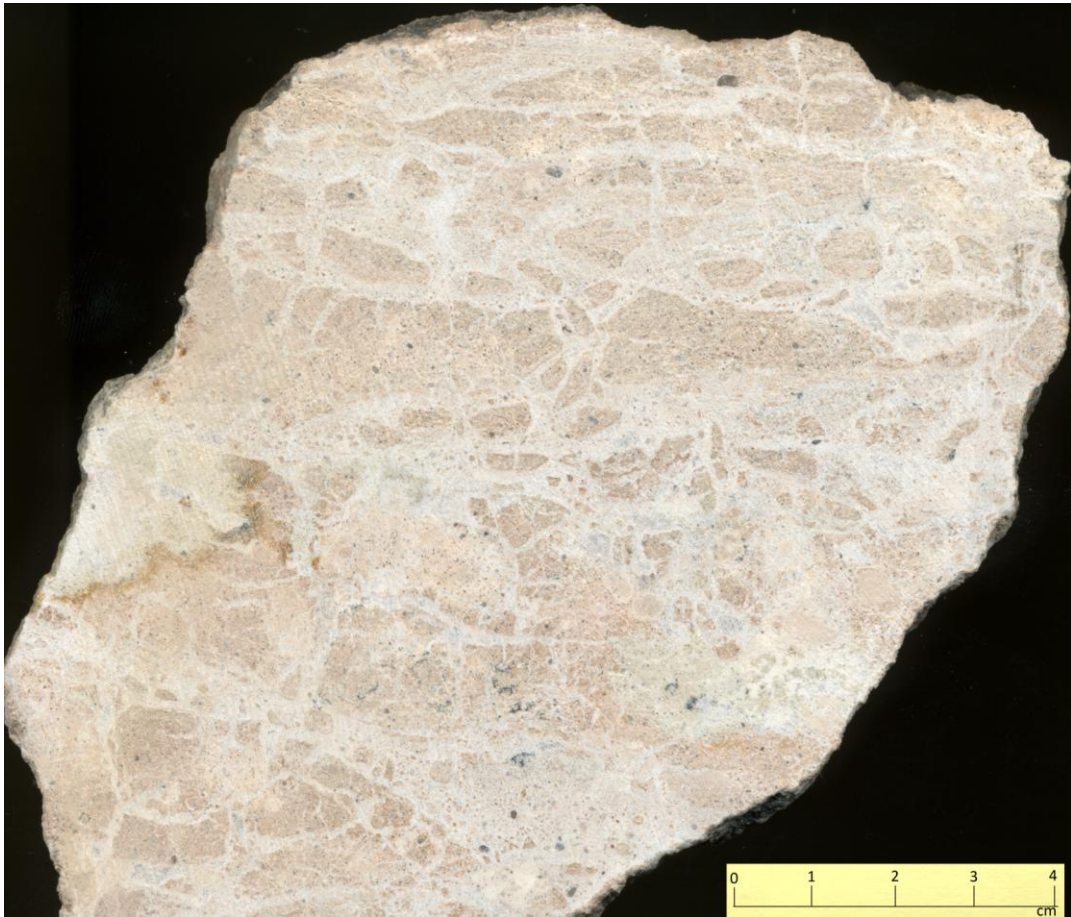


Figura 10 - Calcretes laminares cortando fragmentos de rocha configurando um aspecto brechoso.

Os calcretes nodulares ocorrem em camadas de arenitos conglomeráticos fortemente a extremamente cimentados e substituídos por carbonato de cálcio. Os nódulos variam entre 3mm e 4cm de diâmetro, com formas irregulares, circulares e alongadas e os calcretes laminares são caracterizados por ocorrerem cortando esses nódulos ou contornando seus limites, com uma horizontalidade mais bem definida, como mostrado na Fig.11.



Figura 11 - Nódulos coalescidos associados a calcretes laminares do Membro Ponte Alta.

5.1.2 MICROSCOPIA

5.1.2.1 Descrição geral

Em microscópio pode-se identificar de forma mais eficiente o comportamento dessas laminações, que são compostas por calcita espática e ocorrem cortando de forma abrupta domínios de carbonato microcristalino (Fig. 12-C), nódulos (Fig. 12-A) e clastos (Fig.12-B), como também contornando seus limites (Fig.12-D). A espessura das laminações variam de 2 até 10 mm, apresentando uma continuidade lateral bem definida na maioria das amostras.

Na figura 12-B observar um grão de quartzo policristalino fraturado, composto por suturas que podem ter funcionado como zona de fraqueza associado à sua composição facilitando a sua quebra.

Na figura 12-C observar o domínio de carbonato microcristalino totalmente fraturado e preenchido pelas laminações.

Nas figura 12-D o material em que a laminação esta associada é composto por micrita deposicional, com grãos siliciclásticos dispersos, além da existência de fraturas por dessecação. Neste caso, após o dessecação, foram geradas uma série de fraturas com dimensões e configurações diversas, posteriormente preenchidas por calcita espática.

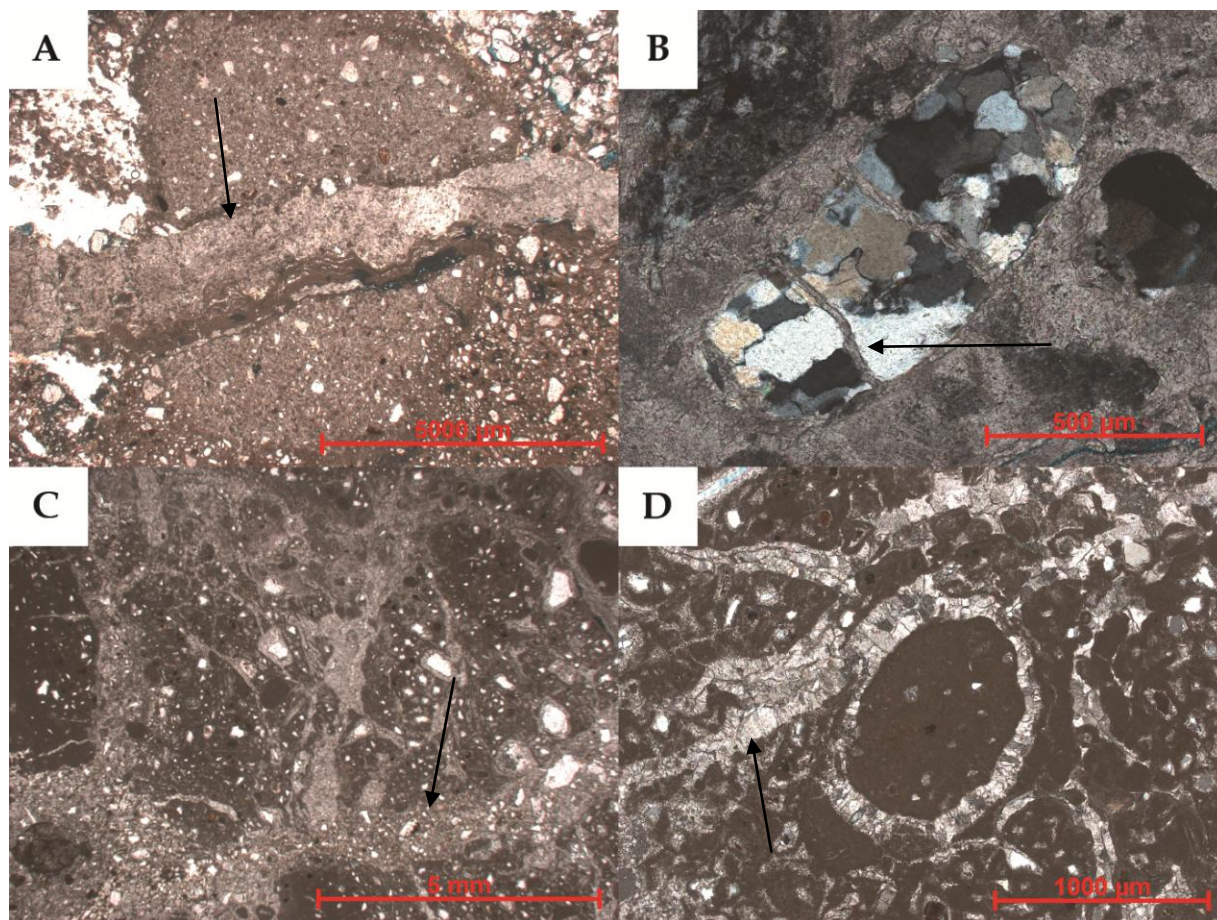


Figura 12 - Exemplos de como pode ocorrer a laminação nos calcretes do Membro Ponte Alta. Todas as 4 imagens em nicóis cruzados. (Figura 12-A e 12-B: Lâmina PA-02; Fig. 12-C e 12-D: Lâmina PA-05) (Setas indicando as laminações) (Extraído e adaptado de Sampaio, 2016)

Associados as vênulas, ocorrem feições do tipo grãos flutuantes (Fig. 13), além de franjas carbonáticas (Fig.14) e substituição de grãos siliciclásticos. Os grãos flutuantes ocorrem tanto nos calcretes nodulares, quanto nos brechosos, apresentando contornos corroídos.

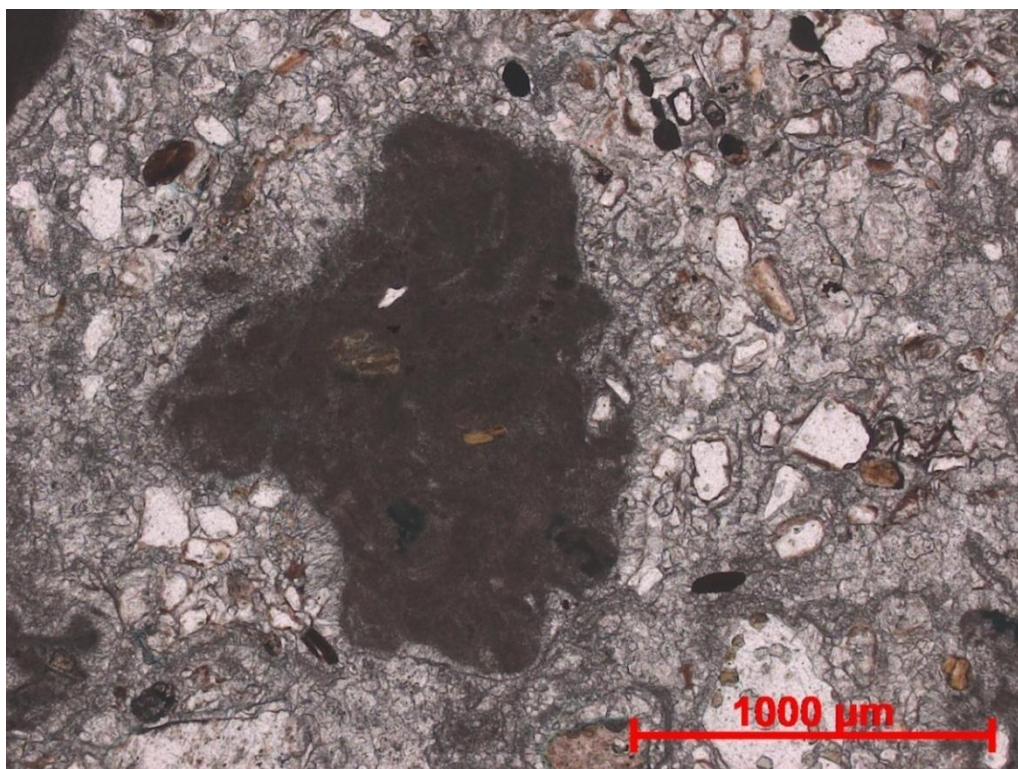


Figura 13 - Nódulo micrítico com contornos corroídos com textura de grãos flutuantes .
(Nicóis cruzados)

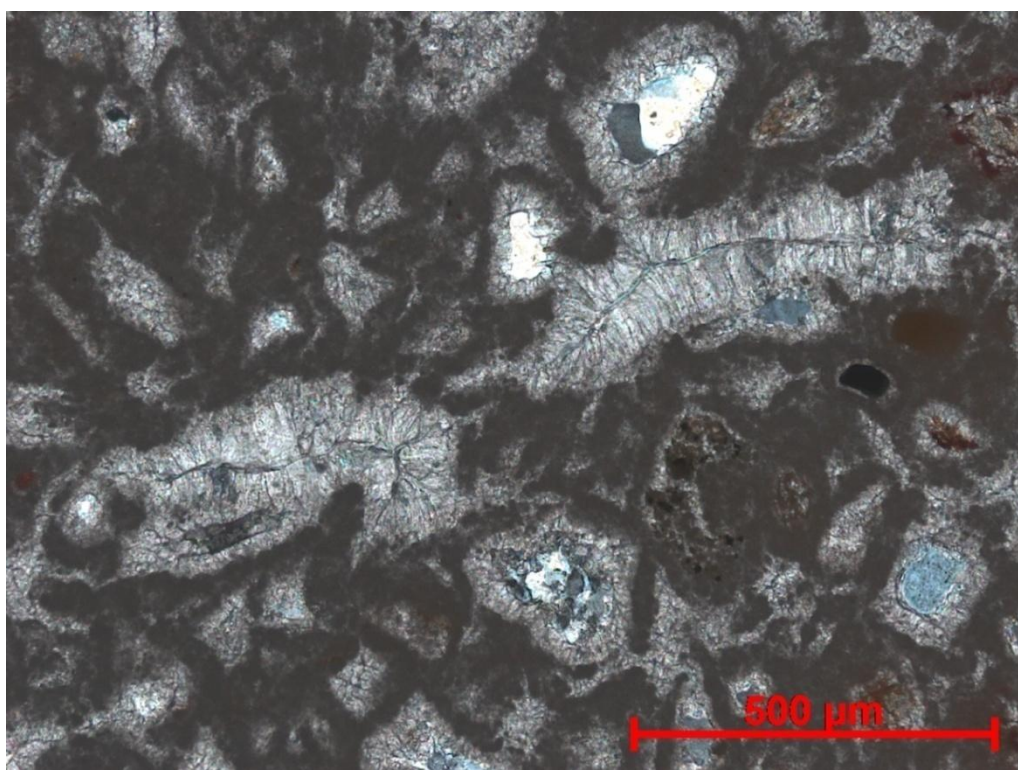


Figura 14 - Franja carbonática. (Nicóis cruzados)

5.1.2.2 Lâmina PA-02

Nesta amostra (Fig. 15), as laminações são compostas por calcita espática, com em média 2 mm de espessura e uma continuidade lateral não muito bem definida. Os calcretes laminares, neste caso, ocorrem cortando de forma abrupta domínios de carbonato microcristalino.

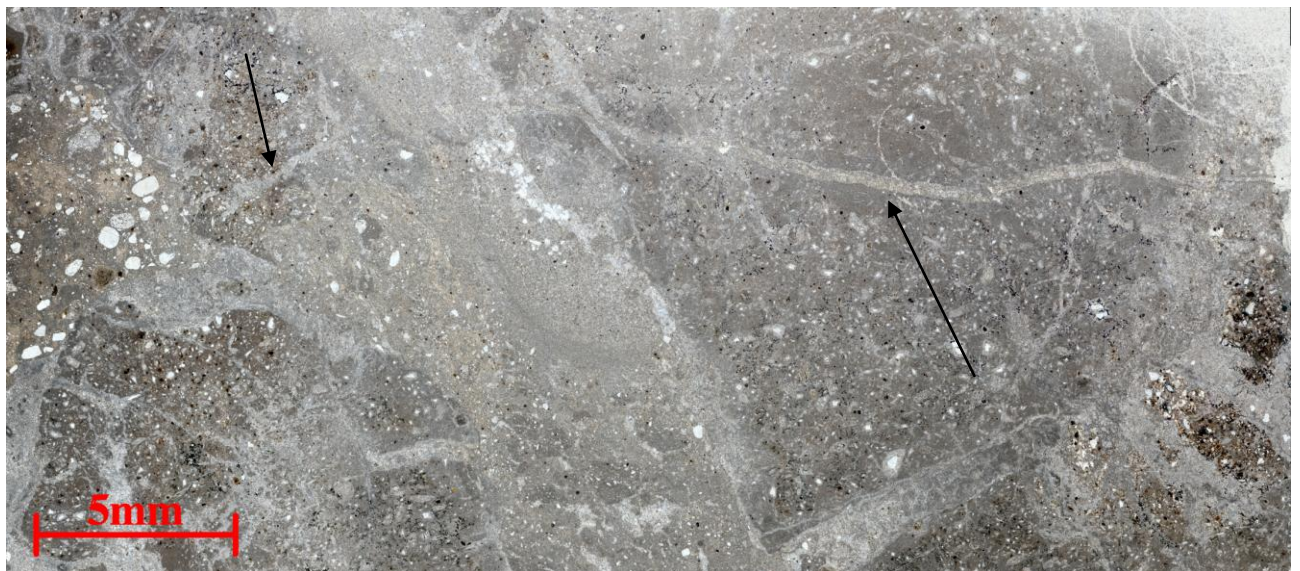


Figura 15 - Imageamento da área total da Lâmina PA-02 (Nicóis paralelos) (Seta indicando as laminações).

5.1.2.3 Lâmina PA-05

Nesta amostra (Fig. 16), as laminações são compostas por calcita espática, apresentando horizontalidade bem definida, com continuidade lateral ao longo de toda a lâmina, com espessuras de até 10 mm.

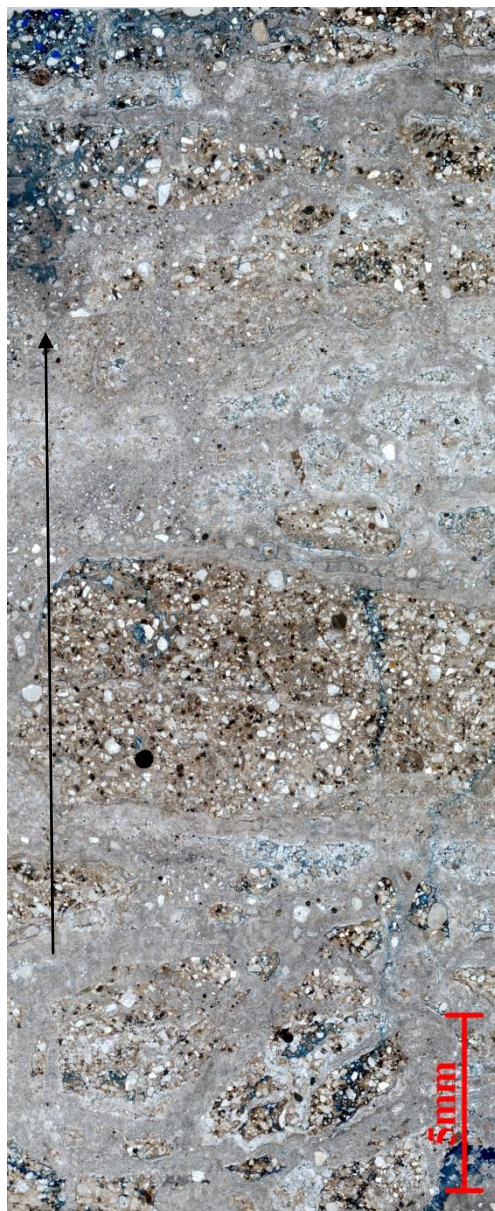


Figura 16 - Imageamento da área total da lâmina PA-05. (Nicóis paralelos) (Seta indicando topo da amostra)

5.1.2.4 Lâmina PA-19

As laminações nesta amostra (Fig. 17) são, também, compostas por calcita espática e se comportam de uma forma não-corrosiva, contornando os limites dos grãos ao longo da lâmina delgada. Tem continuidade lateral bem definida ao longo de toda a amostra com espessura variando entre 2 e 5 mm. Esse calcrete está associado a calcretes nodulares, presente na lâmina.

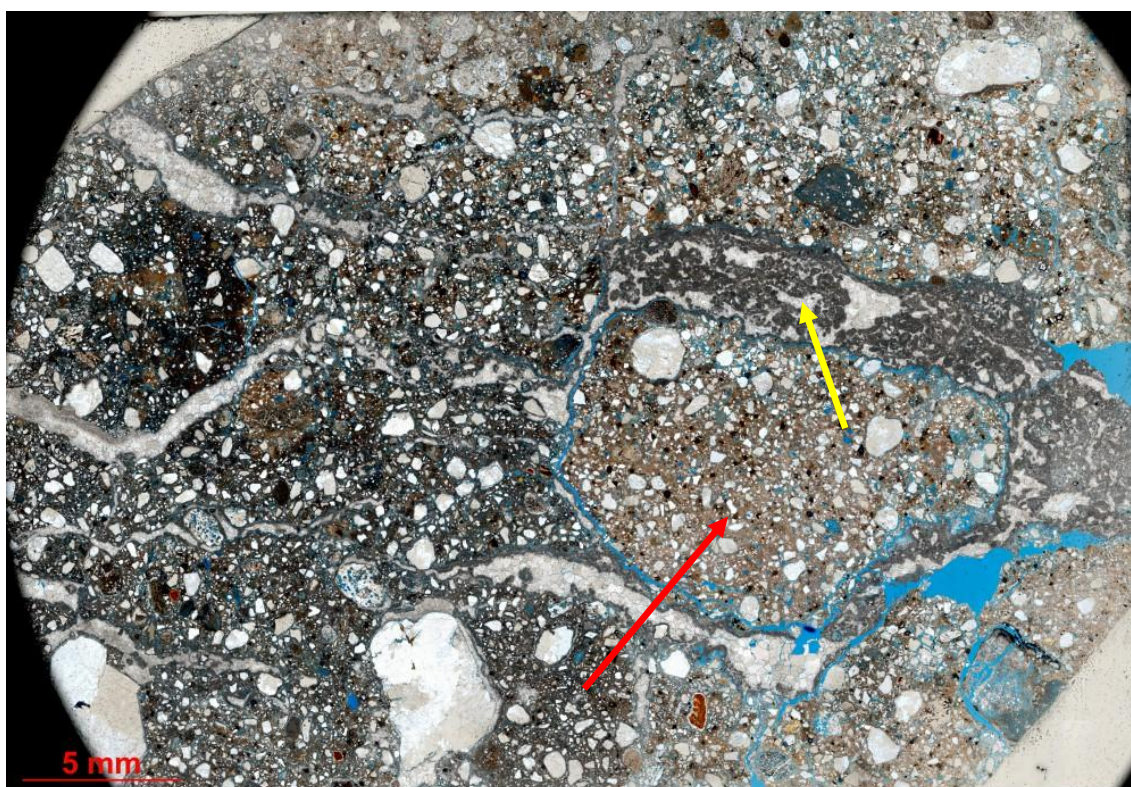


Figura 17 - Imageamento da área total da lâmina PA-19 (Nicóis paralelos). Seta vermelha indica nódulo que foi formado por uma substituição incompleta do arcabouço. Seta amarela indica processo de ocupação passiva do espaço poroso, sem o rompimento dos constituintes primários pelo carbonato.

5.2 Calcretes laminares no Membro Serra da Galga

5.2.1 Macroscopia

Os calcretes laminares do Membro Serra da Galga ocorrem em paleossolos descritos como *Vertisols*, em horizontes Bssk. Estes horizontes são caracterizados por material de origem constituído por arenito fino, moderadamente a muito mal selecionado, anguloso a arredondado e matriz argilosa com cimentação e substituição por carbonato microespático a espático, substituindo principalmente a matriz argilosa, ou como vênulas espáticas.

Os calcretes laminares são constituídos por laminações sub-horizontais de calcita espática, de 1-3 mm de espessura, ocorrendo de forma irregular e com continuidade lateral limitada a 1 m. As laminações vistas em campo estão indicadas na figura 19. Além disso, foram observadas bioturbações cortando as laminações (Fig. 20).

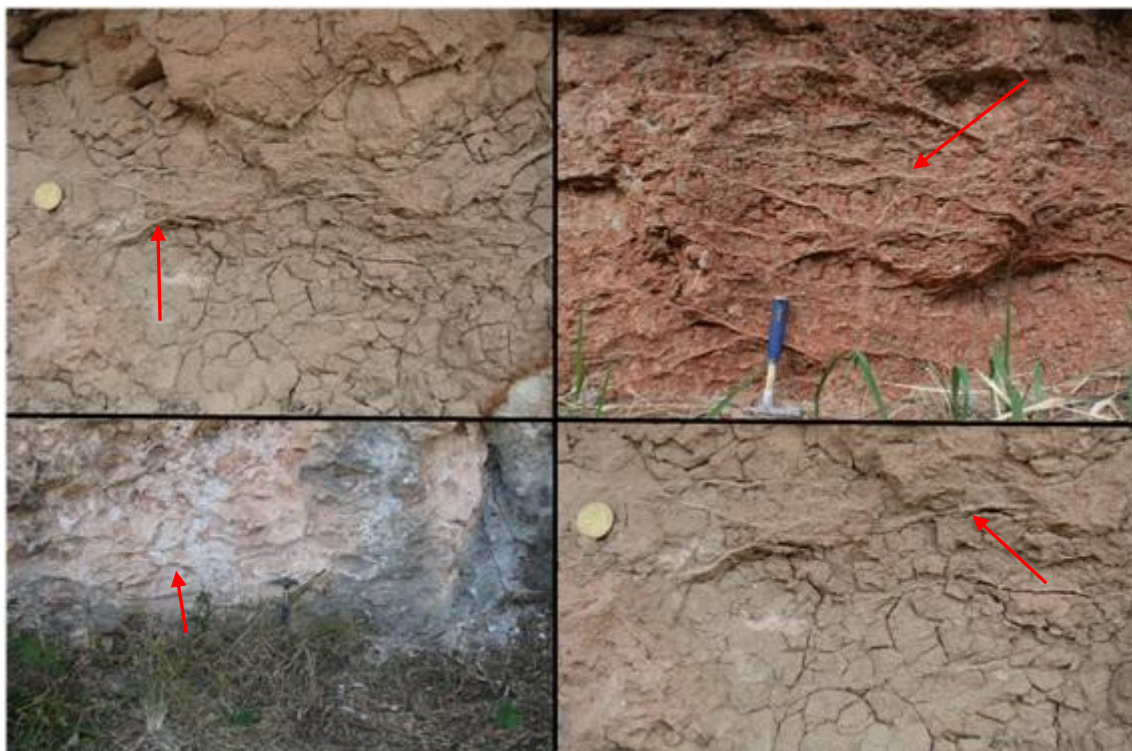


Figura 18 - Horizontes Bssk de *Vertisols* com o desenvolvimento de calcretes laminares associados a rizólitos.



Figura 19 - Bioturbação cortando as laminações(Ponto da Rodovia BR-050 km 153)

5.2.2 MICROSCOPIA

5.2.2.1 Descrição geral

A principal característica nas lâminas destes calcretes é a presença de feições biogênicas. Foram identificados rizoconcreções, bivalvíos, rizólitos e *microcodium*. Essas três feições indicam a presença de raízes nesses horizontes. Os rizólitos (Fig.20-B) ocorrem como estruturas articulares substituídas por calcita. As rizoconcreções (Fig. 20-A) indicam uma calcificação na parte externa de uma raiz. O *microcodium* (Fig.20-C e D) que é um agregado celular composto por cristais individuais de calcita é ligado a calcificação interna das raízes.

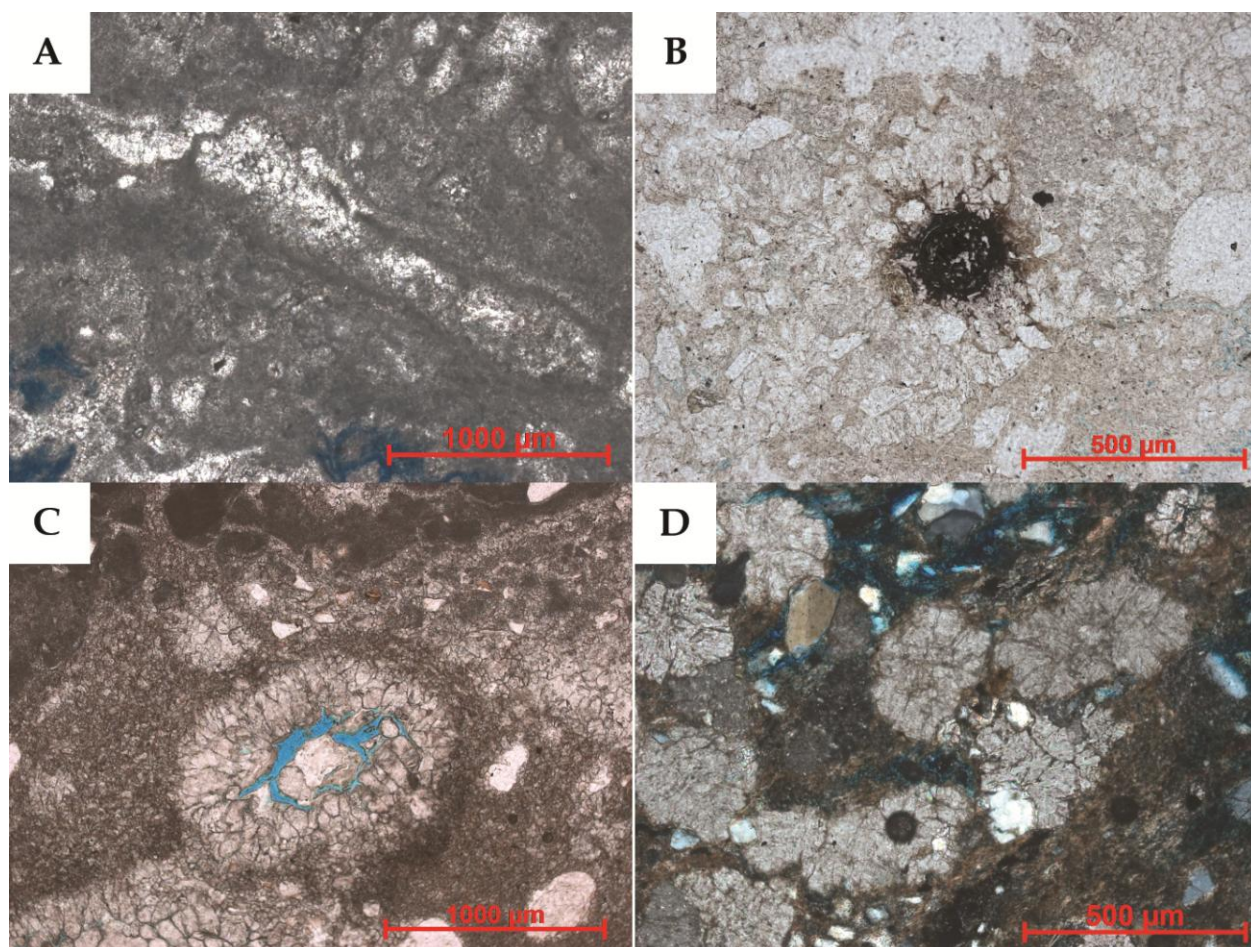


Figura 20 - A) Rizoconcreção; B) Rizólito; C e D) *Microcodium*. A, C e D: Nicóis cruzados; B: Nicóis paralelos.

5.2.2.2 Lâmina SG-04

Esta amostra tem uma grande variedade de feições e estruturas, por esse motivo foram selecionados quatro pontos diferentes na amostra para a confecção de lâminas delgadas, apresentadas nas figuras 21 e 23.

As lâminas SG-04-01 e SG-04-02 (Fig. 21) apresentam calcretes laminares pouco desenvolvidos, com espessuras não ultrapassando 1 mm e continuidade lateral limitada a, no máximo, 5 mm. Nestas duas amostras ocorrem rizólitos, mostrados em detalhe na fig. 20-B, que indica a atividade biogênica, além de feições de iluviação de ferri-argilã (Fig. 22-A), pedotúbulos e bioturbações (Fig.22-B).

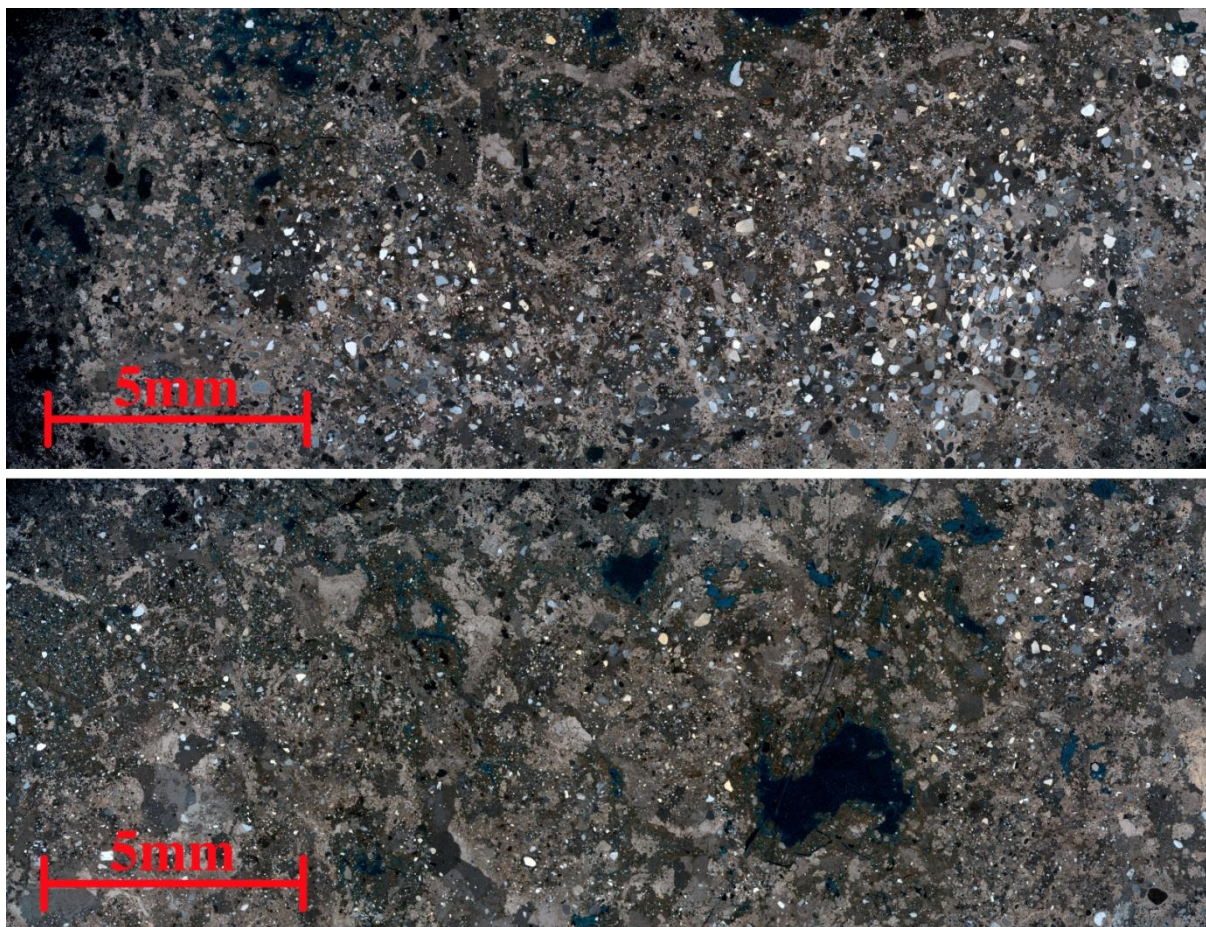


Figura 21 - Imageamento total das lâminas SG-04-01 e SG-04-02. (Nicolis cruzados)

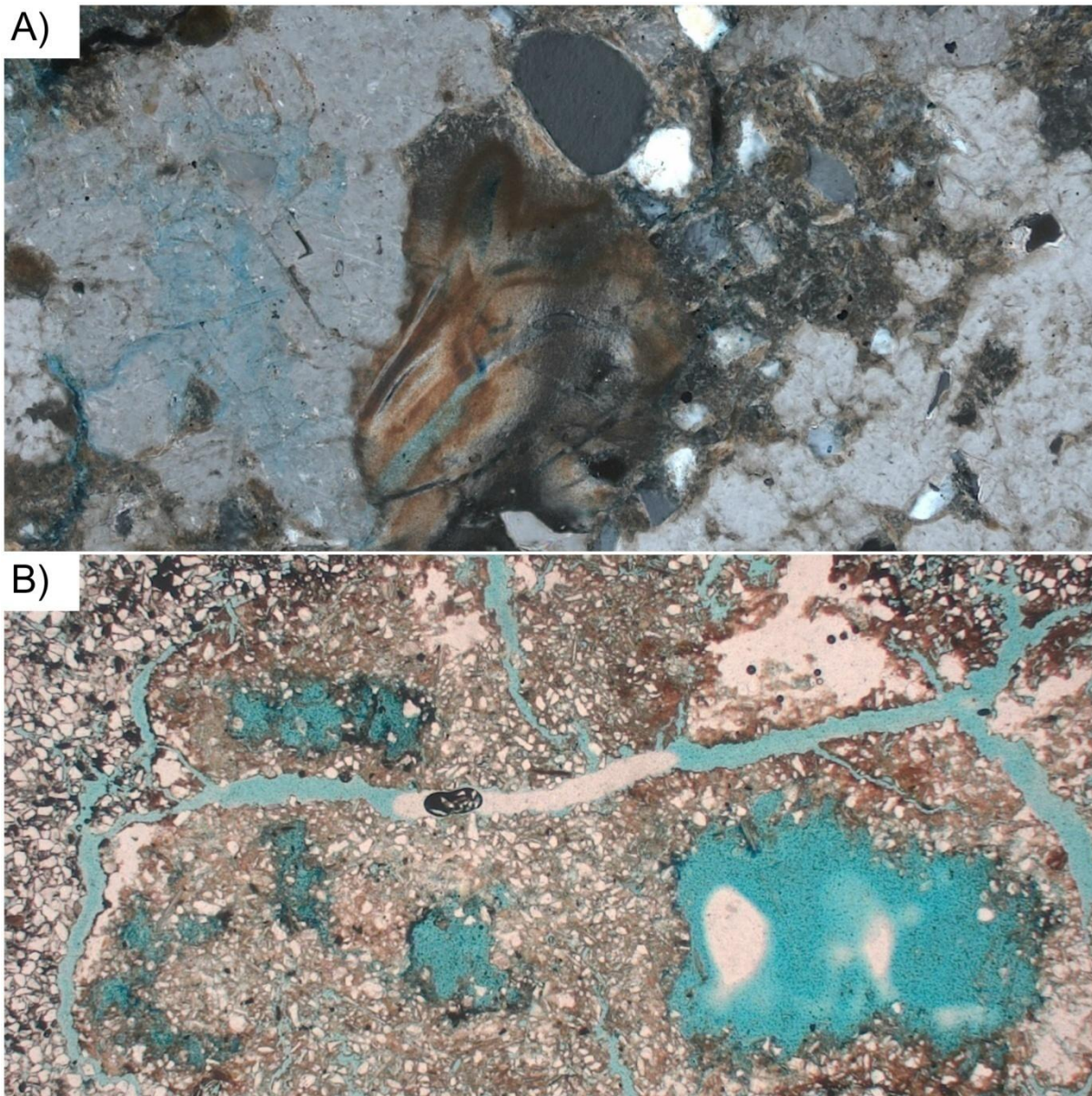


Figura 22 - A) Iluviação de ferri-argilã B) Bioturbação

A lâmina SG-04-03 (Fig. 23) tem como principal característica a presença por toda a lâmina de um tipo de *microcodium* mostrado em detalhe na fig. 20-D. A presença dessa feição está associada a ocorrência de calcretes laminares nesta amostra.

No caso da lâmina SG-04-04 (Fig. 23) ocorrem calcretes laminares ao longo de toda a lâmina delgada, compostos por calcita espática, com desenvolvimento difuso, espessura de, em média, 1 mm e sem continuidade lateral bem definida.

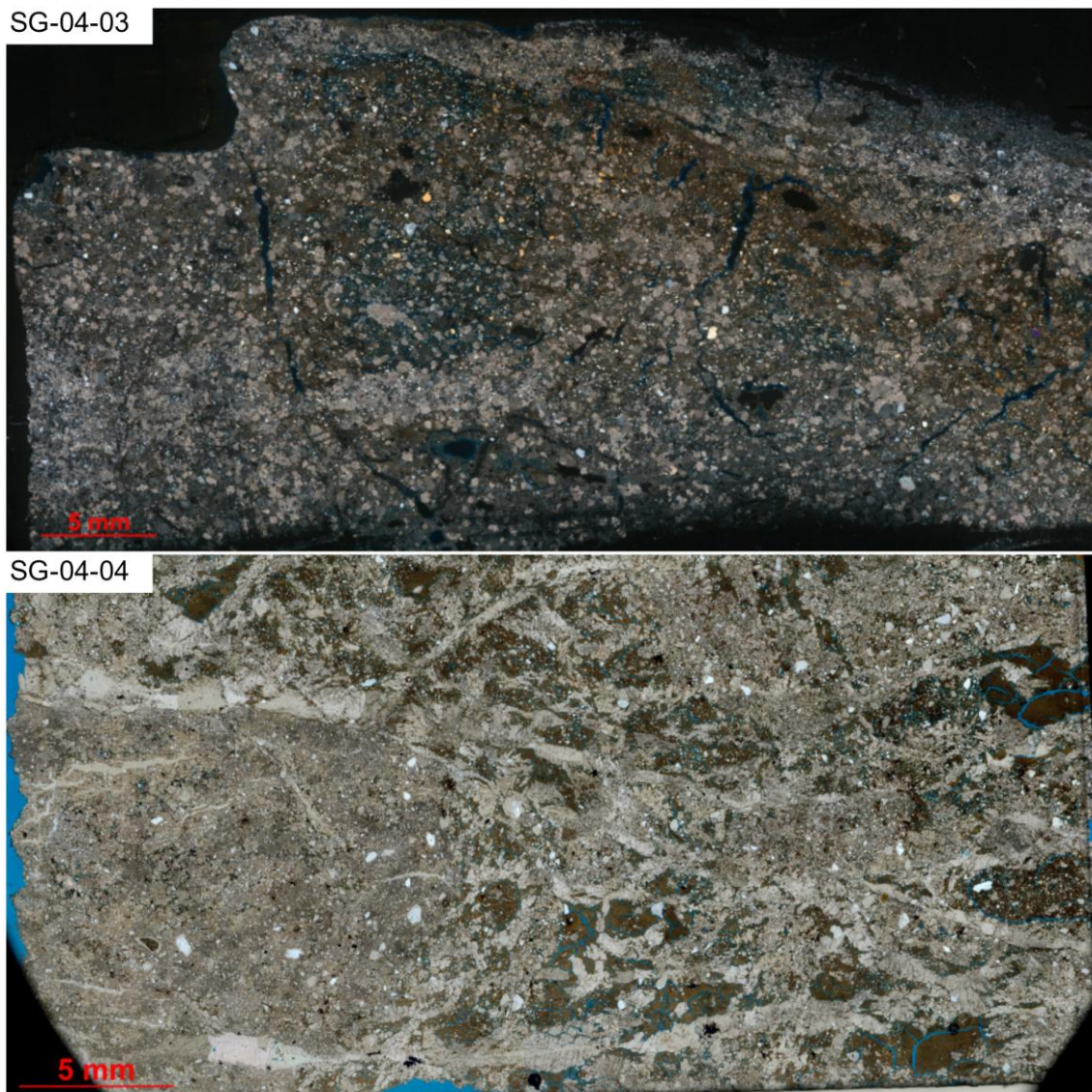


Figura 23 - Imageamento da área total das lâminas SG-04-03 E SG-04-04. (Nicóis cruzados)

5.2.2.3 Lâmina SG-07

No caso desta amostra, as laminações são representadas por uma crosta pisolítica composta por calcita microespática, com espessura de, no máximo, 5 mm, além de apresentar

continuidade lateral por toda a amostra de forma irregular. Associada a essas laminações ocorrem *microcodium* mostrado em detalhe na figura 20-C.

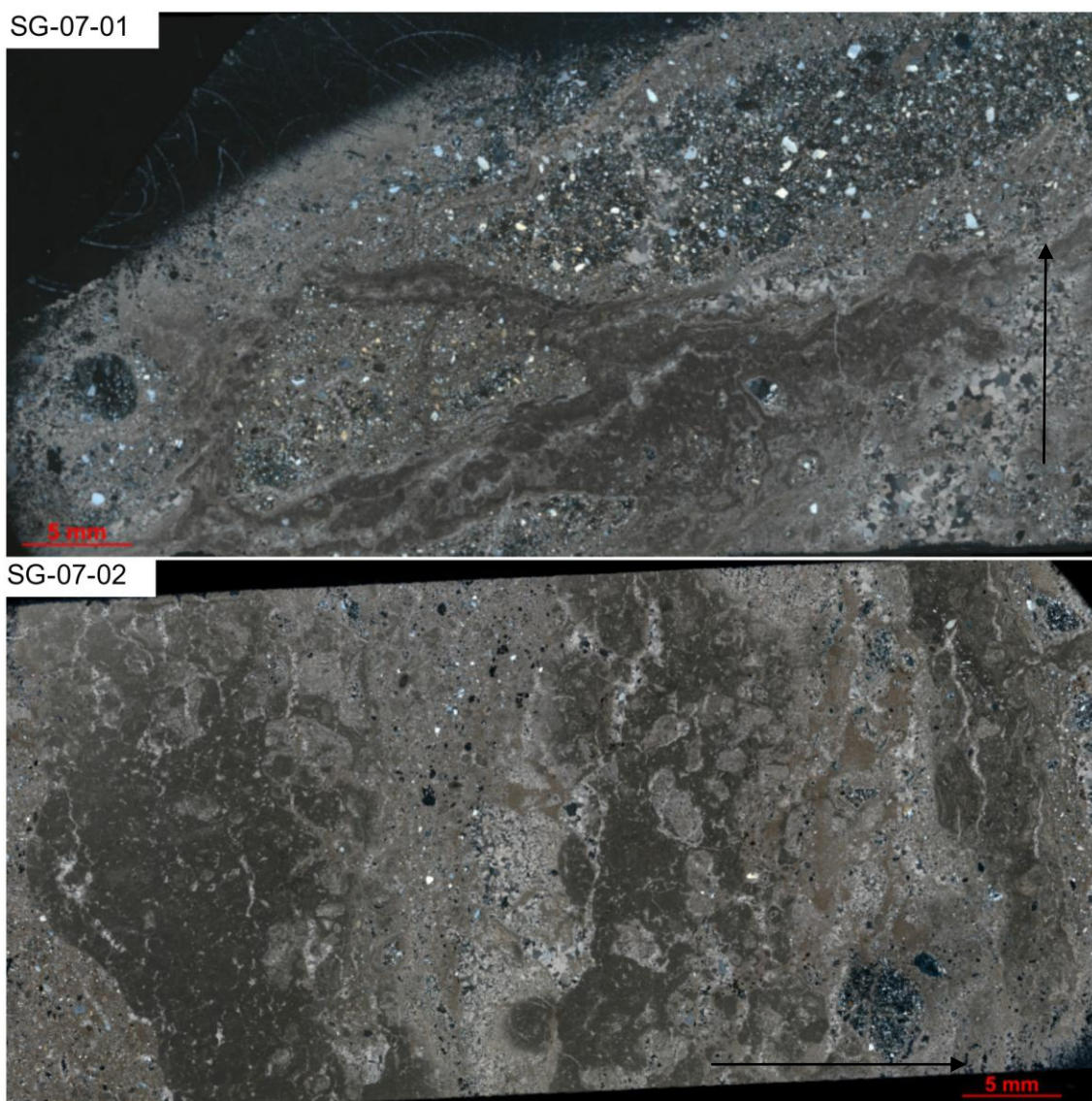


Figura 24 - Imageamento da área total das lâminas SG-07-01 e SG-07-02. (Nicóis cruzados)
(Seta indicando o topo da amostra)

5.2.2.4 *Microcodium*

A causa da formação da microfiação conhecida como *Microcodium* é proposto em Kosir (2004) onde a calcificação interna da raiz é explicada como um mecanismo que tem como objetivo a absorção de nutrientes por certos tipos de plantas. A planta por estar em um substrato carbonático pobre em nutrientes passa por um processo de adaptação que aumenta a mobilização de elementos. Esse mecanismo explica tanto a precipitação de carbonato em plantas, quanto a corrosão do substrato carbonático pelo *Microcodium*.

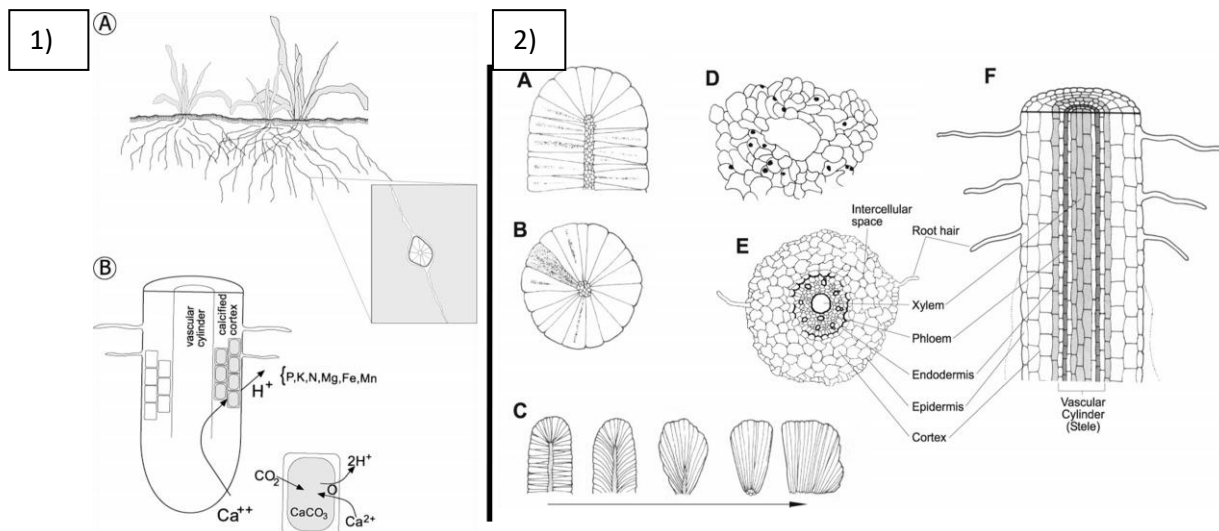


Figura 25 - 1) Formação de um *microcodium*; 2) Tipos de *microcodium*. Modificado de Kosir (2004).

Na figura 25-1A é a exemplificação de uma raiz penetrando no substrato rico em carbonato, dissolvendo esse substrato através da secreção de ácidos na rizosfera ao mesmo tempo em que a célula da raiz é calcificada formando o *microcodium*.

Na figura 25-1B temos uma seção longitudinal de uma raiz que mostra que a calcificação nas células do cortex da raiz atua como um gerador de prótons permitindo que a

planta acidifique a rizosfera e com isso adquira nutrientes minerais no solo rico em carbonatos.

No caso dos *microcodium* que ocorrem associados aos calcretes laminares do Membro Serra da Galga foram observados dois tipos. Na lâmina SG-04-03 foram observados os *microcodium* (Fig.24-D) indicados pela letra C na figura 25. Por outro lado, na lâmina SG-07-02 foram identificados os *microcodium* (Fig.24-C) indicados pela letra D na fig. 25.

6. DISCUSSÃO

Os membros da Formação Marília em que se encontram os calcretes laminares são diferenciados principalmente pelo grau de cimentação, muito mais intenso no Membro Ponte Alta.

Temos no Membro Ponte Alta, a ocorrência de calcretes laminares associados a calcretes brechosos e nodulares. O comportamento diferenciado das laminações, ora cortando nódulos ou clastos, ora contornando-os pode ser explicado devido a alguns fatores.

Nas amostras em que a calcita ocorre cortando nódulos ou clastos seu desenvolvimento se deu por crescimento deslocativo, que permitiu o fraturamento, também condicionado pelo tipo de clasto ou o nível de alteração já sofrido. A presença de feições de gretas de dessecação permitem uma explicação para a laminação não cortar os nódulos e clastos em algumas amostras. A calcita se cristalizou após fluidos ricos em carbonato percolarem por rochas que, no momento, se localizavam abaixo do nível freático e passaram por um processo de exposição subaérea que gerou espaços devido ao ressecamento.

Nos calcretes laminares do Membro Serra da Galga temos a ocorrência de calcretes laminares associados a atividade de raízes, mas também é possível uma diferenciação devido ao tipo de *microcodium* encontrado, como no que foi proposto por Kosir (2004). Essa diferenciação é explicada pelo nível de preservação da raiz, o quanto estava degradada ou o tipo de microorganismo presente durante a calcificação, que pode gerar os diferentes tipos de *microcodium* exemplificados na figura 25.

Os calcretes identificados no Membro Serra da Galga podem ser comparados com os descritos por Alonso-Zarza (1999) onde são exemplificados três tipos de formação distintas

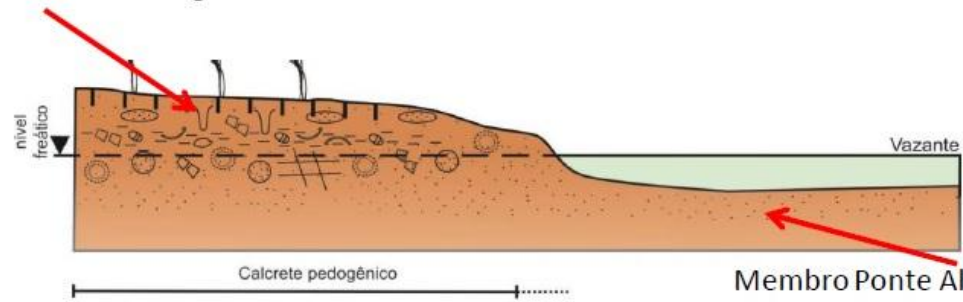
de calcretes laminares. Os encontrados no Membro Serra da Galga tem a gênese relacionada com os encontrados em *Viñegra de Moraña* onde foram identificados *microcodium* como mostrado na figura 20-D, formados a partir de raízes em estágio avançado de decomposição.

Por outro lado, no perfil feito em *Villacadima* ocorre outro tipo de calcrete também conhecido como laminar, o tipo platy. A calcificação neste tipo começa a ocorrer enquanto a planta ainda está viva com contribuição de fungos, o que permitiu uma maior preservação de microfeições.

Quanto a caracterização paleoambiental, a do Membro Ponte Alta é bastante dificultada devido a intensa cimentação que impede a identificação de estruturas sedimentares. As feições identificadas indicam um intenso processo diagenético, como por exemplo, textura de grãos flutuantes, franjas carbonáticas e as vênulas que são classificadas como calcretes laminares. Os depósitos são caracterizados por possuírem geometria tabular ou lenticular, com ciclos de gradação normal. Sampaio (2016) define esses depósitos como fluviais de rios efêmeros ou entrelaçados.

Com isso, é indicado, na Fig.26, onde se formaram os calcretes do Membro Ponte Alta. Os calcretes laminares do Membro Serra da Galga são identificados em paleossolos, classificados como *Vertisols*, onde há ocorrência de estruturas formadas durante o processo de pedogênese, como por exemplo, formas cuneiformes ou paralelepípedicas e presença de superfícies de fricção (*slickensides*), além das microestruturas dos calcretes laminares. Portanto esses calcretes formaram-se num ambiente onde não há influência freática ou diagenética indicada na Fig.26.

Membro Serra da Galga
Calcretes laminares biogênicos



Membro Ponte Alta
Calcretes laminares abiogênicos

Legenda					
	Nódulo Pedogênico		Mosqueamento		Cimento espático
	Nódulo Diagenético		Carófito		Depósitos clásticos
	Bioturbação		Ostracode		Lama carbonática
	Grãos flutuantes		Bivalvio		Pedogênese

Figura 26 - Paleoambiente de formação de calcretes laminares na Formação Marília. (Extraído de Sampaio, 2016)

7. CONCLUSÕES

Os calcretes laminares que ocorrem na Formação Marília ocorrem em ambos os Membros, mas com características e origens completamente diferentes. A partir deste estudo pode-se chegar a duas classificações distintas: Calcretes laminares abiogênicos e biogênicos.

Essa classificação utilizou de características macroscópicas e microscópicas, caracterizando a morfologia de cada tipo, além de identificar texturas e estruturas associadas, podendo assim explicar a gênese dos calcretes laminares da Formação Marília.

Os calcretes laminares do Membro Ponte Alta ocorrem em arenitos fortemente cimentados associados a calcretes brechosos e nodulares. Morfologicamente, apresentam continuidade lateral muito bem definida ao longo das amostras estudadas e com espessuras variando entre 2 e 10 mm. Sua origem está ligada a variação do lençol freático, o que permitiu a circulação de fluidos enriquecidos em carbonato de cálcio durante a diagênese freática, incluindo fases de preenchimento de fissuras geradas por dessecação - em momentos de exposição subaérea - de sedimentos fluviais e palustres. Portanto, tem sua origem ligada a processos abiogênicos.

Os calcretes laminares do Membro Serra da Galga tem a sua formação totalmente ligada a calcificação de raízes, explicado pelas micro-feições identificadas, como rizólitos, feições alveolares, rizoconcreções e, principalmente, *microcodium*. Essas duas feições principais, *microcodium* e rizoconcreções, indicam dois tipos distintos de calcificação, uma com a calcificação interna e a outra, com calcificação externa, respectivamente. Morfologicamente, foi observado uma continuidade lateral limitada a 1 m, ocorrendo de forma difusa nas amostras observadas, com espessura das laminações não ultrapassando 5

mm. Por apresentarem essas características tem sua origem relacionada a processos biogênicos em um ambiente dominado por processos pedogenéticos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. e Barbosa, O. 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. Departamento Nacional da Produção Mineral, Boletim da Divisão de Geologia de Minas, 143. p.1-96.

Alonso-Zarza, A.M. 1999. Initial stages of laminar calcrete formation by roots: examples from the Neogene of central Spain. *Sedimentary Geology*, 126. p.177–191.

Alonso-Zarza, A.M. 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth-Science Reviews*, 60. p.261-298.

Arakel, A.V. 1986. Evolution of calcrete in palaeodrainages of the Lake Napperby area, Central Australia. In: A.R. Chivas, T. Torgersen, J.M. Eowler (Eds.). *Palaeoenvironment of Salt Lakes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54. p.283-303.

Barcelos, J. H., Suguio, K. 1987. Correlação e Extensão das Unidades Litoestratigráficas do Grupo Bauru, Definidas em Território Paulista e nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. *VI Simpósio Regional de Geologia*, v. 1, p.313-321. Rio Claro: SBG.

Batezelli, A. 2003. *Análise da sedimentação cretácea no triângulo mineiro e sua correlação com áreas adjacentes*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Universidade Estadual Paulista.

Batezelli, A. 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 40(2). p.265-285.

Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T. 1985. *Handbook for Soil Thin Section Description*. Wolverhampton: Waine Research Publications.

Capilla, R. 2002. *Mapeamento geológico, caracterização litofaciológica e estratigráfica das sucessões siliciclásticas da Formação Marília na região de Uberaba – MG*. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Dal'Bo, P.F.F. 2011. Mecanismos deposicionais e processos pedogenéticos em lençóis de areia eólica: a Formação Marília, Neocretáceo da Bacia Bauru, Brasil, e La Salina, Holoceno da Bacia Tulum, Argentina. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

Dias-Brito, D., Musacchio, E. A., de Castro, J. C., Maranhão, M. S. A. S., Suarez, J. M., Rodrigues, R. 2001. Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. *Revue de Paléobiologie*, 20 (1), p.245–304.

Esteban, M., Klappa C. F. 1983. Subaerial exposure environments. In: P. A. Scholle, D.G. Bebout, C.H. Moore (Eds.), *Carbonate Depositional Environments*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 33. p.1-196.

Fernandes, L. A., Coimbra, A. M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(2), p.195-205.

Fernandes, L. A., Coimbra, A. M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4), p.717-728.

Fernandes, L. A. 2010. Calcretes e registros de paleossolos em depósitos continentais neocretáceos (Bacia Bauru, Formação Marília). *Revista Brasileira de Geociências*, 40(1), p.19-35.

Fulfaro, V.J. e Barcelos, J.H. 1991. Grupo Bauru no Triângulo Mineiro: uma nova visão litoestratigráfica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. Atas, São Paulo, SBG/SP-RJ, p. 59-66.

Fúlfaro, V.J e Perinotto, J.A.J. 1996. A Bacia Bauru: estado da arte. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, Águas de São Pedro, Boletim, p.297-303.

Fúlfaro, V.J., Etchebehere, M.L.C., Perinotto, J.A.J., Saad, A.R. 1999. Santo Anastácio: um Geossolo cretácico na Bacia Caiuá. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Simposio sobre el Cretácico de América del Sur, 1, Serra Negra. Boletim, p.125-130.

Kosir ,A. 2004 Microcodium revisited: Root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *Journal of sedimentary research*, 74, p.845-857.

Machette, M. N. 1985. Calcic soils of the south-western United States. *Geological Society of America Special Paper*, 203, p.1-21.

Retallack, G.J. 1990. Soils of the past: an introduction to paleopedology. Unwin Hyman, London, 520 pp.

Retallack, G. J. 2001. *Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology*. London: Allen and Unwin.

Riccomini, C. 1997. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(2). p.153-162.

Sampaio,L.F. 2016. Gênese e interpretação paleoambiental dos calcretes da Formação Marília (Cretáceo Superior da Bacia Bauru) na região de Uberaba (MG). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 84f.

Soares, P. C., Landim, P. M. B., Fulfaro, V. J., Sobreiro Neto, A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Revista Brasileira de Geociências*, 10(3), p.177-185.

Suguio, K. 1973. *Formação Bauru. Calcários e sedimentos detríticos associados*. Tese (Livre Docência). São Paulo: Universidade de São Paulo.

Wright, V.P. 1989. Terrestrial stromatolites and laminar calcretes: a review. *Sedimentary Geology*, 65. p.1-13.

Wright, V. P., Tucker, M. E. 1991. Calcretes: an introduction. In: V. P. Wright, M. E. Tucker (Eds.), *Calcretes* (1–22). Oxford: Blackwell.

Wright V.P., Platt N.H., Marriott S.B., Beck V.H., 1995. A classification of rhizogenic (root-formed) calcretes, with examples from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous of Spain and Upper Cretaceous of southern France, *Sedimentary Geology*, 100, p.143-158.

Wright, V.P. 2007. Calcrete .In: Nash J. and McLaren J. *Geochemical Sediments and Landscapes*, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, p.10-45.